

IT機器の高速化・高周波化に対応したEMC測定手法の研究

—1GHz以上のEMC測定への対応—

木島 一広・石田 正文・清水 誠司

Research on EMC measurement method suited to the processing speed increase of information technology equipments and to the band broadening

—Adaption to EMC measurement above 1GHz—

Kazuhiro KIJIMA and Masafumi ISHIDA and Seiji SHIMIZU

要 約

情報処理機器の高速化・高周波化に伴い、当センターとしての1GHz以上のEMC測定への対応を検討するため、国際規格の調査と、当センター電波暗室の1GHz～18GHzのサイトアッテネーション測定を行った。併せて、30MHz～1GHzのサイトアッテネーション測定を行い特性を再確認した。測定の結果、30MHz～1GHzのサイトアッテネーション測定においては、水平偏波で100MHz以下の周波数範囲においてVCC1基準値より減衰が大きくなる傾向がある事を確認した。1GHz～18GHzのサイトアッテネーション測定では、スペクトルに最大10dB程度のリップルが確認され、加えてサイトアッテネーションのアンテナ高依存性と指向性の非対称が確認され、当センターの暗室は自由空間条件を満たすものではない事が明らかとなり、今後の対応への指針となるデータを得た。

1. 緒 言

ここ数年の急速な高度情報化の結果、パーソナルコンピュータや携帯通信端末などの情報技術機器 (Information Technology Equipment: ITE) は日常生活の中に多数見受けられるようになった。また、工作機械、輸送機械、重機、医療機器など情報技術とは直接関係しない分野でも電子機器は多用されるようになった。このように多数の電子機器が溢れるようになるにつれ、電子機器設計の際、「他の電子機器に影響を与えない、他の電子機器の影響を受けない、内部干渉を起こさない」といった電磁環境両立性 (Electro-Magnetic Compatibility: EMC) を考慮する事は必要不可欠となってきた。

加えて近年、IT機器の高速化、無線通信機器の使用周波数帯域の高周波化の動きが急速に進んだ。例えばパーソナルコンピュータではクロック周波数が2GHzに達するものが市販されるようになった。これらの動きに呼応して、EMC規格における試験上限周波数の1GHz以上への引き上げが検討、実施されつつある。EMCの対策は対象となる周波数が高くなるにつれ従来からの手法を適用することが困難となり難しさを増す。最近是比较的性能の高い電磁界シミュレータ機器も市販され、ある程度の予測のもとに製品設計を行う事が可能であるが、対策の効果を実際に確か

めるには実測に頼らざるを得ない。このため、対策時の測定の種類は現在と同様かそれ以上になるものと思われる。

上記のような状況に当センターとしても対応すべく、未だ流動的である国際規格の動向を把握し、また高い周波数領域におけるEMC測定への対応を検討するための資料を得る事を目的として、国際規格の調査と1GHz以上の周波数領域における電波暗室特性の測定を行った。また併せて通常使われている30MHz～1GHzの周波数領域における電波暗室特性について再測定を行い、特性の確認を行ったので以下に報告する。

2. 測定方法

2-1 国際規格の調査

1GHz以上のEMC測定規格の現状把握と電波暗室特性測定条件を決定する事を目的として出版物、会議出席などにより国際規格の調査を行った。

2-2 30MHz～1GHzのサイトアッテネーションの測定

1GHz以上の電波暗室特性測定の前段階として、また現状の把握を目的として、通常使用している30MHz～1GHzの周波数帯域におけるサイトアッテネーションの測定を行

い、電波暗室特性を再確認した。この際、VCCI（情報処理装置等電波障害対策協議会）等ではダイポールアンテナもしくは一対の同種類の広帯域アンテナを用いたサイトアッテネーション測定が規定されているが、ダイポールアンテナを用いた測定は、当所の電波暗室の大きさでは特に低い周波数帯が困難であり、また、同じ形式の広帯域アンテナを複数所有していないため、今回は送信アンテナと受信アンテナに異なる形式の広帯域アンテナ（送信アンテナ：バイコンカルアンテナ、ログペリオディックアンテナ、受信アンテナ：パイログアンテナ）を用いて測定を行った。

測定装置の構成を表1、図1に示す。

測定手順はVCCIの規格・規定類に概ね従った。まず、送信アンテナを1mの高さに固定し受信アンテナを1～2mの範囲で走査して V_{site} の最大値を測定し、その後送信アンテナと受信アンテナに接続されていたケーブル同士を直接接続し、 V_{direct} を測定した。サイトアッテネーションは次式より算出した。

表1 測定に使用した機材

測定器	スペクトラムアナライザ プリセクタ	ADVANTEST R3361A ADVANTEST R3551
送信アンテナ	バイコンカルアンテナ バラン	SCHWARZBECK BBA9106 SCHWARZBECK VHA9103B (30～300MHz)
	ログペリオディックアンテナ	SCHWARZBECK UHALP9107 (300～1000MHz)
受信アンテナ	パイログアンテナ	CHASE 6111B

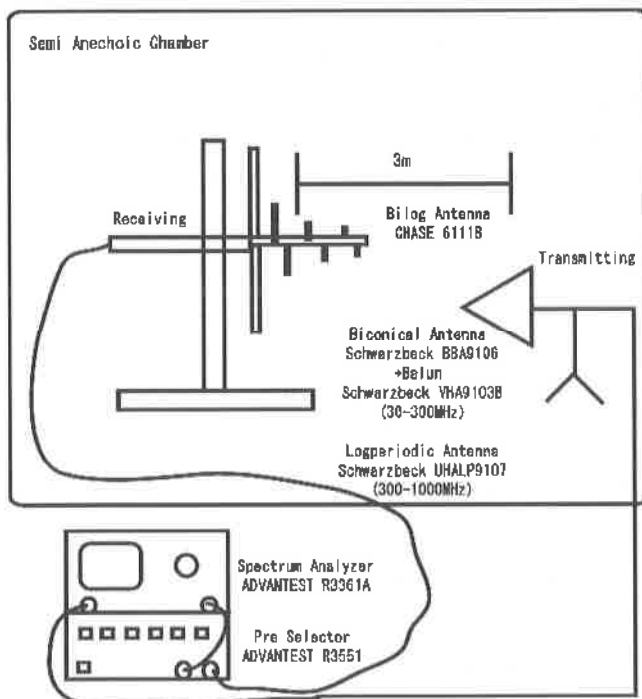


図1 測定装置の構成

$$SA \text{ (dB)} = V_{\text{direct}} - V_{\text{site}} - AF_t - AF_r$$

V_{site} [dBuV]: 電波暗室伝搬時の測定器受信電圧

V_{direct} [dBuV]: ケーブル直接接続時の測定器受信電圧

AF_t [dB]: 送信アンテナのアンテナファクタ

AF_r [dB]: 受信アンテナのアンテナファクタ

2-3 1GHz～18GHzのサイトアッテネーションの測定

現状、規格では1GHz以上の周波数領域のサイト評価法は定められていないが、試験サイトには自由空間条件を要求する事が原案となっていることから、それを満たしているかどうかの評価を行うため、ダブルリッジドガイドホーンアンテナ（以下DRGHアンテナ）とスカラアナライザを用いて1GHz～18GHzまでの電波暗室特性の測定を行った。

測定アンテナ高（受信アンテナと送信アンテナは同じ高さ）1mと1.5mでの測定を行い、サイト減衰量のアンテナ高さ依存性を、また、水平偏波のみであるが、アンテナ高を1.5mに固定し、送信アンテナを30度ごと360度回転させアンテナ指向性測定を行った。

DRGHアンテナは三脚を用いてアンテナ開口部の端面同士が3mとなるように配置し、また、送信側のDRGHアンテナは指向性測定のため、ターンテーブル上に開口部の端面の中心とターンテーブルの回転中心が一致するように設置した。その他の測定機材は暗室内の受信アンテナ斜め後方に設置した。

測定は30MHz～1GHzの測定で用いているフェライト電波吸収体を敷設した場合と敷設しない場合において行った。（図3参照）

測定手順は、まず送信アンテナと受信アンテナに接続されるケーブル同士を直接接続し、受信電圧により測定器の校正を行う。その後、アンテナを接続して信号を暗室内に伝搬させた時と直接接続時との差 A (dB)を測定した。サイトアッテネーションは次式より求めた。

$$SA \text{ (dB)} = -A - AF_t - AF_r$$

A [dB]: 暗室伝搬時の直接接続時からの減衰

AF_t [dB]: 送信アンテナのアンテナファクタ

AF_r [dB]: 受信アンテナのアンテナファクタ

表2 測定に使用した機材

電波暗室	TDK製 5面電波暗室 フェライトタイル貼り (9kHz-10GHz)
測定器	マイクロウェーブシステムアナライザ 1RF 6844
送信アンテナ	ダブルリッジドガイドアンテナ Eaton 96001
受信アンテナ	ダブルリッジドガイドアンテナ EMCO 3115
アッテネータ	Hewlett Packard製
電波吸収体	フェライトタイル ~1GHz用

3. 結果

3-1 国際規格の調査

国際規格の調査の結果、国際無線障害特別委員会(CI S P R)では情報機器等に関連した1GHz以上の周波数帯域におけるEMI測定手法、測定場、測定機器に関する規格で決定されているものはまだ存在せず、委員会原案(Committee Draft : CD)を作成中もしくは審議中である事を確認した。

その中で

○試験周波数範囲は1~18GHzである。ただしEUT (Equipment Under Test : 供試機器)の内部発振器の最大周波数、試験対象周波数より低い周波数範囲の試験結果などの条件により測定周波数範囲は1~2.7GHz, 2.7GHz~10.7GHz, 10.7GHz~18GHzの3段階で変化すること。

許容値は1~18GHzの範囲で

平均値許容値 50dB (μ V/m)

尖頭値許容値 70dB (μ V/m)

で有ること。

○測定サイトには自由空間条件 ± 4 dBを要求され、基本的には反射波の影響を取り除いた自由空間オープンサイトを用い、代替サイトとして6面の電波暗室の使用の可能性も有ること。

○測定器にはスペクトラムアナライザを用いる事。スペクトラムアナライザは

分解能帯域幅 1MHz $\pm 10\%$

ビデオ帯域幅 1MHz以上

○測定アンテナは直線偏波アンテナで指向性が1dB低下するビーム幅がEUTを包括すること。

○測定距離は基本的に3mであること

などが原案として挙げられていることを確認した。

3-2 30MHz~1GHzのサイトアッテネーションの測定

30MHz~1GHzのサイトアッテネーション測定結果を図4, 図5に示す。参考としてVCCI基準値も示した。VCCI基準値とは送信アンテナの高さ、受信アンテナの走査範囲、使用アンテナが異なり、また、測定値にはアンテナ-大地間、アンテナ-アンテナ間の結合の補正を施していないため単純に比較することはできないが、傾向として水平偏波では約100MHz以下の周波数範囲で、VCCI基準値+4dBより減衰が大きいことがわかった。水平偏波のその他の周波数および垂直偏波ではVCCI基準値+4dBの範囲には収まっていることが確認できた。

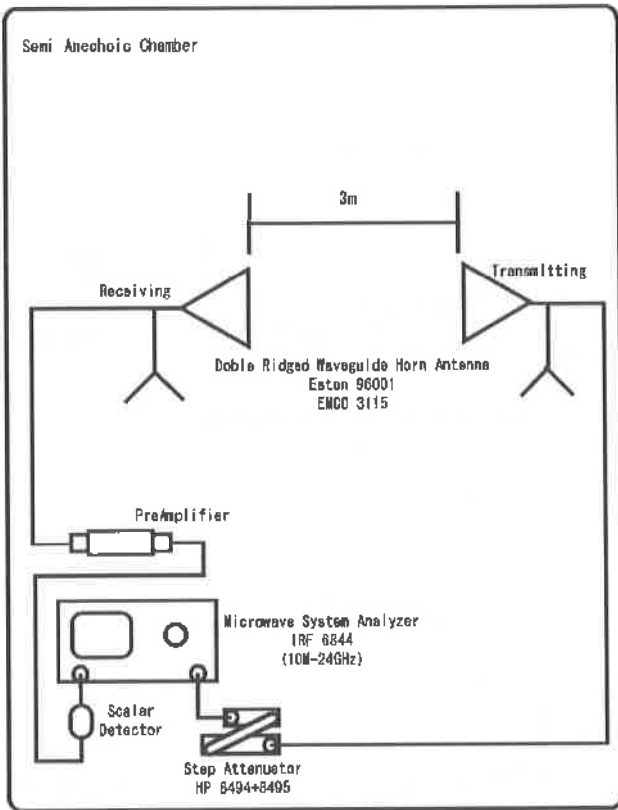


図2 測定装置の構成

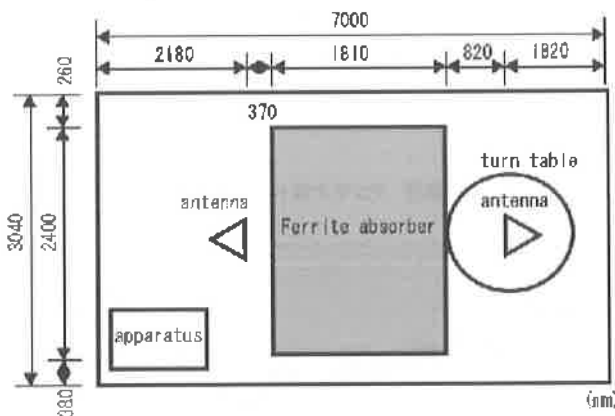


図3 電波吸収体配置図

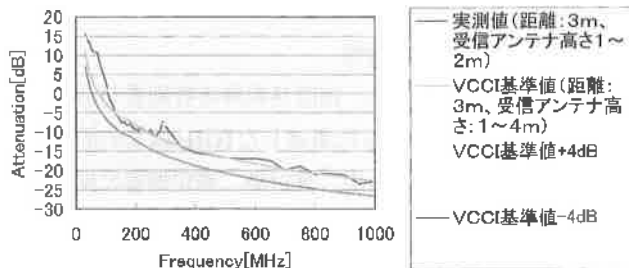


図4 30MHz~1GHzのサイトアッテネーション測定結果 (水平偏波)

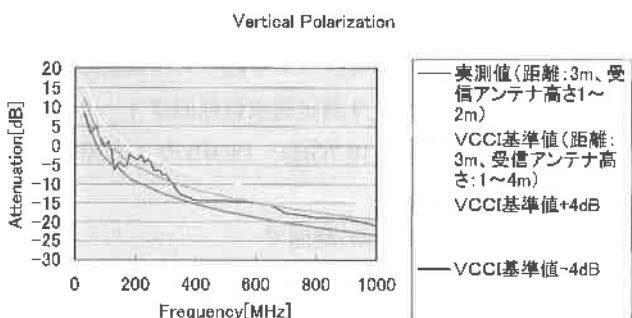


図5 30MHz~1GHzのサイトアッテネーション測定結果 (垂直偏波)

3-3 1GHz~18GHzのサイトアッテネーションの測定

1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果を図6~図16に示す。参考として自由空間におけるサイトアッテネーションの理論値と理論値±4dBの値も図中に示した。サイトアッテネーションの理論値は次式より求めた。

$$SA (dB) = 20 \log (d) - 20 \log (F) + 32$$

d [m]: 測定距離

F [MHz]: 周波数

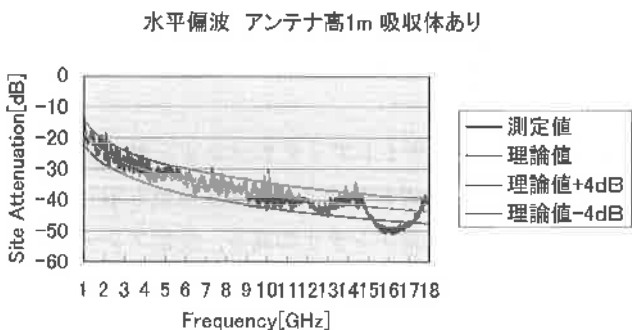


図6 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (1)

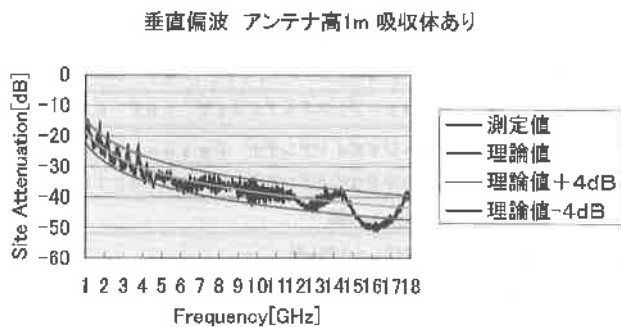


図7 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (2)

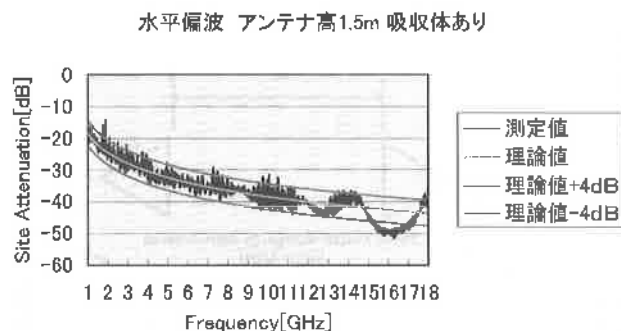


図8 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (3)

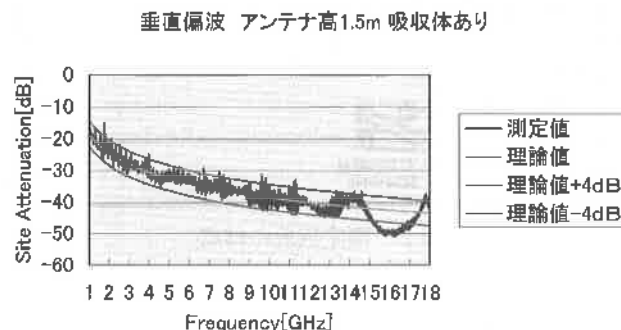


図9 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (4)

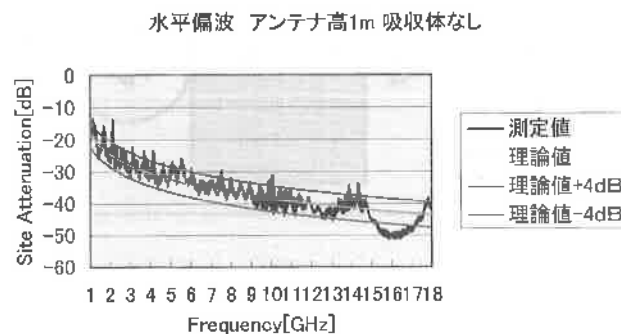


図10 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (5)

垂直偏波 アンテナ高1m 吸収体なし

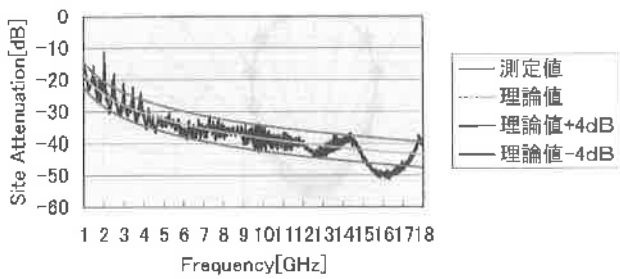


図11 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (6)

水平偏波 アンテナ高1.5m 吸収体なし

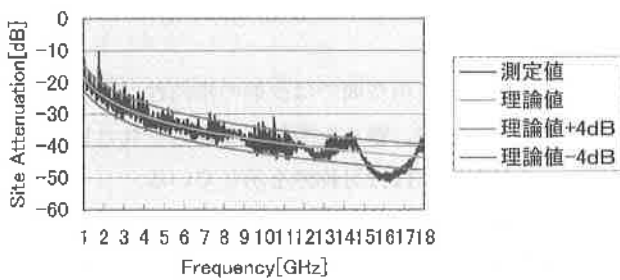


図12 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (7)

垂直偏波 アンテナ高1.5m 吸収体なし

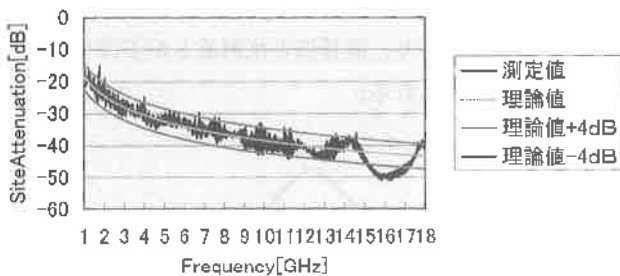


図13 1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定結果 (8)

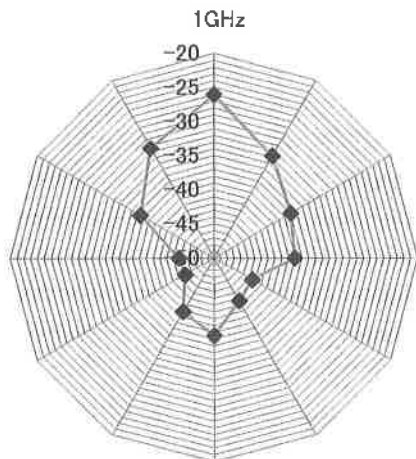


図14 アンテナ指向性測定結果 (1GHz)

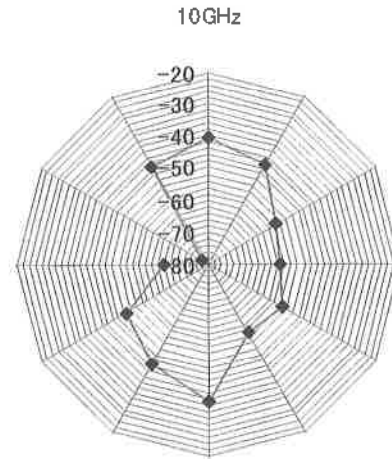


図15 アンテナ指向性測定結果 (10GHz)

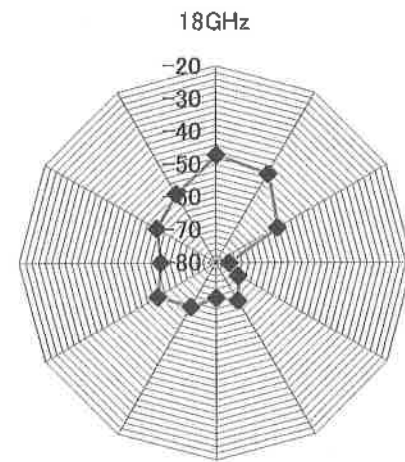


図16 アンテナ指向性測定結果 (18GHz)

測定の結果、床面に電波吸収体 (30MHz~1GHz用) を敷設し、アンテナ高を1.5mにした状態で、2GHz付近の周波数帯において約10dBのリップルが観測され、その他にもリップルは多数観測された。自由空間±4dBの範囲に入っていない箇所も多く見受けられ、電波吸収体において反射が起こっている可能性を示している。スペクトルの13GHz以降に見られる山は、使用したアンテナファクタが一般的なもので使用したアンテナ固有のものでない事、さらに、その値が1GHzステップのもので直線補間をしたものである事などの理由から特性の補正が完全に行われていないために現れたものと考えられる。

加えて、アンテナ高さ依存性や、指向性の非対称性も確認された。

4. 考察

自由空間における2つのアンテナ間の電波の伝搬はよく知られたプリスの伝送方程式⁹⁾によって近似的に記述される。

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T(\theta_T, \Phi_T) G_R(\theta_R, \Phi_R) \left(\frac{\lambda_0}{4\pi d} \right)^2$$

P_T [W]: 送信電力

P_R [W]: 受信電力

$G_T(\theta_T, \Phi_T)$: 送信アンテナ利得

$G_R(\theta_R, \Phi_R)$: 受信アンテナ利得

d [m]: アンテナ間距離

λ_0 [m]: 真空中の波長

この式より自由空間内における減衰量が求められる。

これより 2 つのアンテナが同じ高さで対向している場合、同時にアンテナ高を変えてもアンテナ間距離が一定であれば減衰は変化しない事がわかる。

また指向性については、簡単のため図17のような自由空間内に置かれた矩形開口を考えると、指向性は遠方界条件を満たす距離でzx平面内を観測者が回転する場合

$$D = \frac{1}{120\pi} (1 + \cos \theta) \frac{4 \sin(kau)}{k^2 u}$$

$$u = \sin \theta$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$2a$ [m]: 開口の x 軸方向の寸法

λ_0 [m]: 真空中の波長

とかける。

$2a=0.244\text{m}$, $\lambda_0=30\text{cm}$ (真空中で1GHzに相当) の場合の指向性パターンを図18に示す。

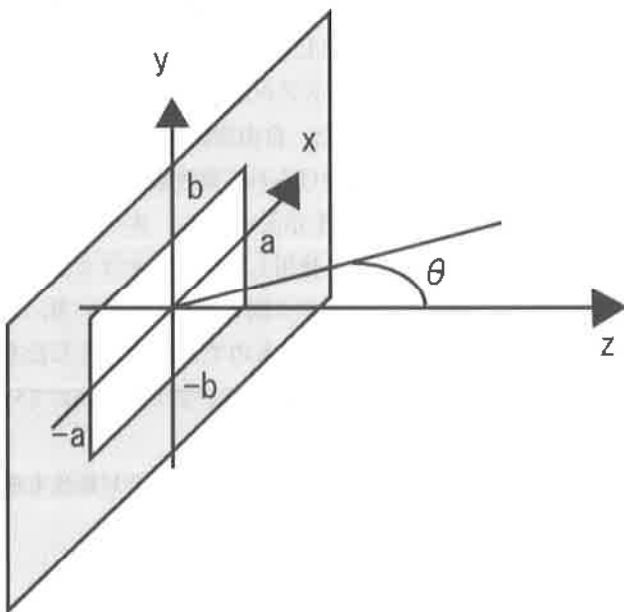


図17 矩形開口による指向性

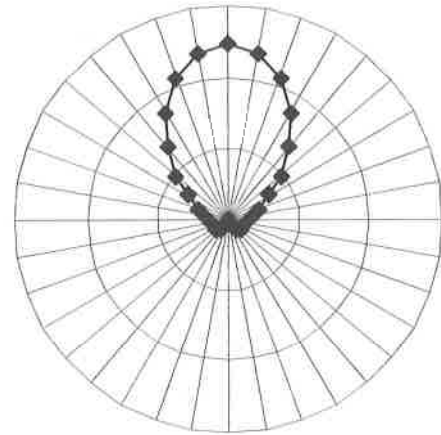


図18 $2a=0.244\text{m}$, $\lambda_0=30\text{cm}$ の条件下での矩形開口による指向性

このことより、自由空間では放射の指向性は軸対称になる事がわかる。実際、整った条件下で測定されたDRGHアンテナの指向性はほぼ対称性を示している。

今回の1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定において測定値のアンテナ高依存性と指向性の非対称性、およびスペクトル上のリップルが観測された事により、現状のセンターの電波暗室は1GHz以上の周波数領域において、自由空間条件を満たすものではないことが確認された。

原因としては電波暗室が狭く、また電波吸収体が1GHz以上の周波数領域に対応していないため、床面、壁面による反射が起こっており、直接波と反射波とが干渉を起こしているものと考えられる。

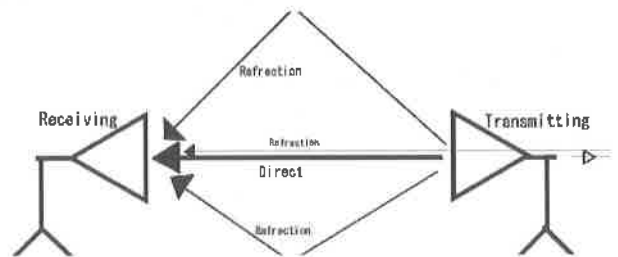


図19 電波暗室内で予想される伝搬経路

5. 結言

今回の測定によって、1GHz以上の周波数領域のEMCの国際規格の動向を把握し、また、1GHz~18GHzのサイトアッテネーション測定を行う事ができた。このことにより当センターの電波暗室が、現状では1GHz以上のEMC測定への対応が不可能であることを示す具体的なデータを得る事が出来た。今後、1GHz以上の周波数領域におけるEMC測定に対応するためには、電波暗室の特性改善が必要である。現状の電波暗室を活用してさらに特性改善を図るには、市販の高周波対応電波吸収体の敷設などが考えら

れる。

測定技術，測定機材に関する指導，アドバイスを頂いた長野県精密工業試験場 宮下純一研究員に感謝致します。また，測定機材を貸与して頂いた菊水電子工業株式会社に感謝致します。

参考文献

- 1) CISPR /G/210/CD (2001)
- 2) 不要電波問題対策協議会：1GHzから18GHzの周波数帯域での放射妨害波測定ガイド，不要電波問題協議会，(1999)
- 3) 宮下：マイクロ波サイトアッテネーションの測定，未出版，(1998)
- 4) 菅岡，山中，石上，倉橋：“1GHz以上のEMI測定装置—測定サイトの特性評価—”，信学技報，EMCJ,2000-119，(2001)
- 5) (社)電子情報技術産業協会 EMC委員会：“1GHz～18GHzのアンテナ校正共同実験報告書”，電子情報技術産業協会，(2001)
- 6) C.R.Paul：EMC概論，ミマツデータシステム，(1996)
- 7) 徳丸 仁：基礎電磁波，森北出版，(1992)
- 8) 松尾 編：電波技術ハンドブック，日刊工業新聞社，(1987)