

研究所の電磁波測定設備とその利用例

RF Measurement Facilities

田中 健一郎*

松本 元一*

*Kenichiro Tanaka**Motoya Matsumoto*

(2000年7月10日 受理)

キーワード： EMC, EMI, EMS, イミュニティ, 電波半無響室, 電波全無響室, シールド効果

1. はじめに

電磁波とは電磁エネルギーが空間を伝搬する現象である。3000GHz以下の周波数の電磁波は電波と呼ばれ、放送や情報通信の手段として古くから利用されている。また、近年では情報化社会の進展と情報技術の発展に伴い、携帯電話等電波を利用する個人向けの情報通信機器が急速に普及する等、電波利用に関連する技術の重要性が増している。

電波を通信に利用する上での問題の一つに、電気・電子機器が非意図的に発生する電磁妨害(EMI; Electromagnetic Interference)と呼ばれる電磁波ノイズがある。電子回路から空間に放射される電磁波ノイズは信号の周波数が高くなるほど強くなる為、機器の情報処理能力を高める目的でデジタル回路のクロック周波数を高くすると、新たなEMI対策が必要になることがある。

この他、電磁波のエネルギーが機器の動作に様々な影響を及ぼすという問題がある。例えば携帯電話のように意図的に電波を放射する機器の近くでは、電子機器が性能低下を来したり、誤動作することがある。

電子機器の多くは程度の差はあれ電磁波の影響を受け得る。この影響の受けやすさを電磁感受性(EMS; Electromagnetic Susceptibility)と呼ぶ。あるいは、感受性とは逆に電磁波への免疫性という意味でイミュニティ(Immunity)という言葉もよく用いられる。

以上に述べたように、複数の機器が電磁波により互いに悪影響を及ぼし合うことなく、正常に動作する為にはEMIの抑制とイミュニティの確保を調和のとれた形で実現する必要がある。この考え方は電磁両立性

(EMC; Electromagnetic Compatibility)と呼ばれている。

さて、現在、世界各国ではEMCに関する法的規制等が行われており、市場を流通する電気・電子機器に対して一定のEMC性能が要求されている。

当研究所では、府下企業のEMCへの技術対応を支援する目的で各種のEMC試験設備を設置している。本報告では電磁波測定用の設備について概要、測定原理および利用例について述べる。

2. 放射EMI測定設備

(1) オープンサイト

EMCの分野では、ケーブル等の電気導体に沿って伝わる電磁ノイズを伝導ノイズ、アンテナから発生する電波と同じように自由空間を伝搬する電磁ノイズを放射ノイズと呼んで区別している。これは対象が伝導ノイズであるか放射ノイズであるかで試験や測定の方法が異なるからである。

伝導EMI測定の場合、電源線インピーダンス安定化回路網(LISN; Line Impedance Stabilization Network)等により電源線を伝わる妨害波を取り出して測定する。このように伝導ノイズが伝搬するのは電源線や信号線等のケーブルなので、測定や試験の為に広い空間は不必要である。

これに対して、放射ノイズは自由空間を伝搬する電磁波である為、測定や試験にはアンテナと反射物のない広い空間が必要である。この為、放射EMIの測定には一定以上の広さを有し、周囲に反射物のない測定サイトが用いられる。規格¹⁾²⁾では、オープンサイトと呼ばれる野外測定サイトが放射EMI測定の標準測定サイトと規定されている。

* システム技術部 電子計測グループ

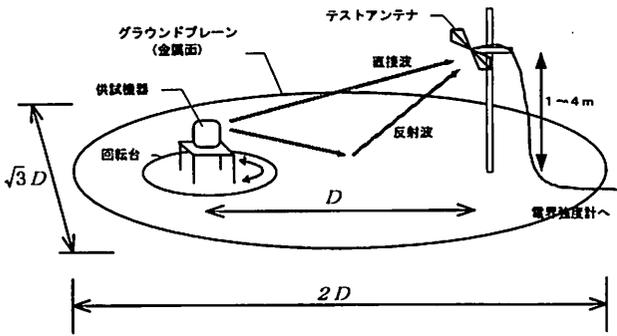


図1 オープンサイトによる放射 EMI 測定

当研究所ではオープンサイトの代替サイトとして電波半無響室を設置しているが、測定の基本的な考え方は両者とも同じであるので、まずオープンサイトについて述べる。

図1にオープンサイトによる放射 EMI 測定の模式図を示す。放射 EMI 測定は、規格で定められた測定距離 D によって 3m 法、10m 法、30m 法の測定法がある。

テストアンテナは供試機器からの直接波と大地反射波の合成電界を受信するので、大地面(グラウンドプレーン)の反射率は一定である必要がある。そこで、グラウンドプレーン上に金属板や金網を敷いて、ほぼ完全な反射面としている。直接波と反射波の打ち消し合いにより電界強度のヌル点が生じる問題は、テストアンテナの高さを 1~4m の範囲で受信電界が最大となる高さとする事で回避している。

理想的なオープンサイトにおける電磁波の伝搬特性は理論的に容易に計算できるが、実際の伝搬特性はグラウンドプレーンの凹凸や立ち木や建造物等周囲の反射物に影響される。そこで、供試機器の代りに送信アンテナ置いて測定サイトの伝搬減衰(サイトアッテネーション)を測定し、理論的に計算される理想サイトの伝搬減衰と比較することが行われている。

(2) 電波半無響室

オープンサイトは放送の電波など測定の妨げになる外来電波の少ない土地に設置する必要があるが、そのような土地を確保し、測定場として使用することには様々な困難がある。また、測定が天候に影響されるという問題もある。

そこで、外来電波を遮断するシールド室を作り、内壁を電波吸収体で覆った電波暗室が作られている。

放射 EMI 測定用の電波暗室はオープンサイトと同等の特性を得る為に床面を金属面としているので、内壁全面を電波吸収体で覆った電波全無響室と区別して電波半無響室と呼ばれている。

当研究所では放射 EMI 測定サイトとして、電波半無響室を設置し、FCC(アメリカ合衆国連邦通信委員会)に登録している。表1に当研究所の電波半無響室の主な仕様を示す。

表1 当研究所の電波半無響室の主な仕様

項目	仕様
対応規格	3m 法/10m 法
内寸	19.3m(L) × 13.1m(W) × 9.0m(H)
搬入口	3.0m(W) × 3.0m(H)
回転台直径	1.5m/5.0m(デュアル式)
回転台最大荷重	2000kg
アンテナ昇降範囲	1.00m~4.00m
シールド性能	100dB 以上(30~1000MHz)
電波吸収体	格子型フェライトとカーボン含浸合成樹脂による複合型

な仕様を示す。

電波半無響室には、オープンサイトに比べて多くの実用上の利点があるが、サイトアッテネーション特性の点ではオープンサイトに及ばないのが現状である。これは、電波吸収体が電波を完全には吸収せず、テストアンテナが壁からの反射波も受信してしまうからである。

図2に当研究所の電波半無響室の正規化サイトアッテネーション(NSA)特性(実線)を示す。破線が理想サイトの NSA 特性、点線が偏差の許容限度である。

(3) 電波半無響室による放射 EMI 測定

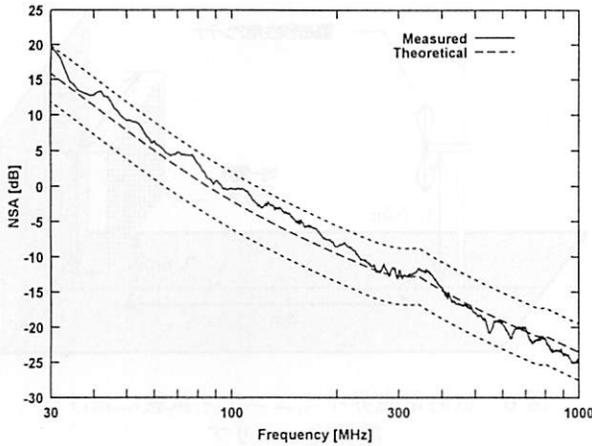
電波半無響室では外来電波が遮断されている為、外来電波と供試機器が発生する電波を区別する必要がなく、測定器をコンピュータ制御することで容易に自動測定が実現できる。当研究所で採用している自動測定システム((株)EMC ジャパン製 TEMS)の自動測定は対策測定(予備測定)と評価測定(本測定)の2段階のプロセスからなる。

(A) 対策測定

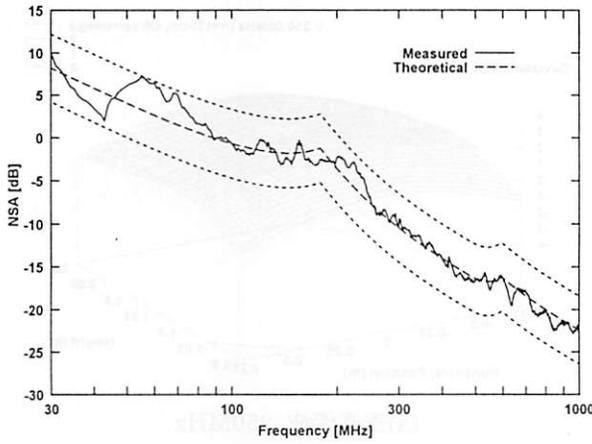
全測定周波数範囲(30~1000MHz)を数バンドに分け、各バンド毎に最大受信レベルが得られるテストアンテナの高さを予め調べておき、バンド毎にテストアンテナの高さを固定して測定する。

測定はスペクトラムアナライザ(アドバンテスト(株)製 R3371A)を最大値保持モードにし、バンド毎に回転台を1回転して行う。対策測定での受信選択度バンド幅は 120kHz、検波モードは尖頭値検波である。ただし、規格¹⁾では充電時定数 1ms に対して放電時定数を 550ms と大きくとった準尖頭値(Quasi Peak)型検波器の使用が規定されている。

スペクトラムアナライザのような周波数掃引式の受信機を準尖頭値モードで使用する場合、検波器の充電および放電時間中に受信周波数が大きく変化しないように、受信周波数の掃引速度を極めて遅くする必要が



(a) 水平偏波



(b) 垂直偏波

図2 電波半無響室のNSA特性

(送信アンテナ高さ 1m, 送受信アンテナ間距離 10m)

ある。しかし、これでは 30~1000MHz という広い周波数範囲の測定を現実的な時間で行うことはできない。このような理由から、全周波数範囲を測定する対策測定では尖頭値を測定し、個別周波数を測定する評価測定では準尖頭値を測定する。

なお、デジタル回路のクロックの高調波のようにコヒーレントなノイズでは準尖頭値と尖頭値は一致するが、インコヒーレントなノイズでは準尖頭値は尖頭値より低くなる。図3に対策測定の測定例を示す。

対策測定の結果、放射 EMI レベルが許容値を超える可能性のある周波数があった場合、その周波数について次の評価測定を行う。

(B) 評価測定

前述のように準尖頭値は尖頭値と等しいかそれより低い値をとるので、機器の規格適合性を判定するだけなら、原理的には尖頭値が許容値を超えた周波数を個別に選び、それらについてのみ準尖頭値の測定を行えばよい。これが評価測定である。

評価測定では指定された個別の周波数毎に受信レベルが最大となる供試機器の方位角とテストアンテナの

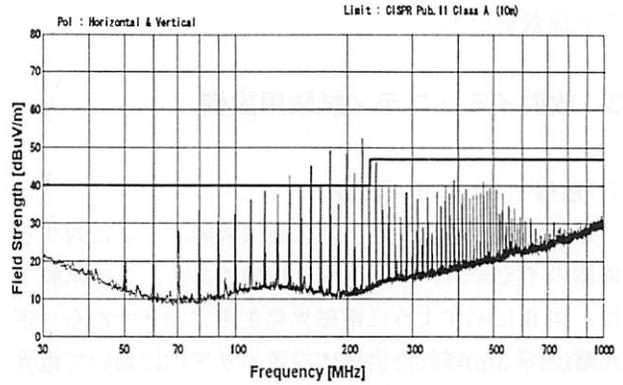


図3 放射 EMI 対策測定の測定例

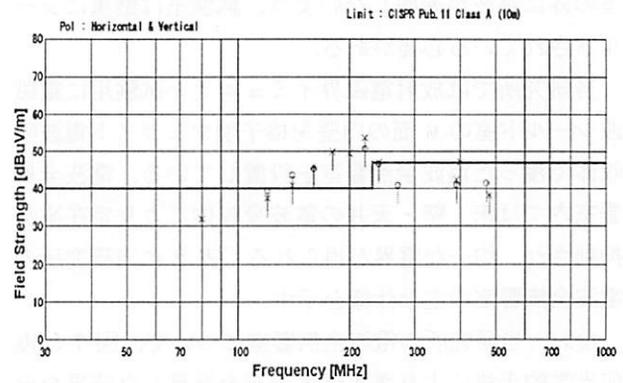


図4 放射 EMI 評価測定の測定例

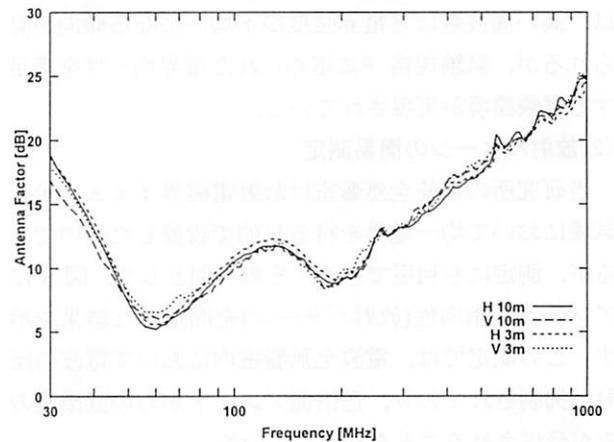


図5 広帯域テストアンテナ (Chase CBL6111A)のアンテナ係数

高さを探索し、電界強度計(ローデ&シュワルツ製 ESS)を使用して受信選択度バンド幅 120kHz での準尖頭値を測定する。準尖頭値の測定値が 1 点でも規格限度値を越えていれば供試機器は不合格となる。図4に評価測定の測定例を示す。

(4) テストアンテナの特性評価

放射 EMI 測定に関する規格¹²⁾は、テストアンテナの特性を定期的に確認することを義務づけている。そこで当研究所では民間のオープンサイトを利用し、標準サイト法³⁾によるテストアンテナの特性評価を実施している。図5に標準サイト法により測定した EMI 測定用広帯域アンテナ(Chase 社製 CBL6111A)のアン

テナ係数を示す。

3. 放射イミュニティ試験用設備

(1) 放射イミュニティ試験

放射電磁界イミュニティ試験は放射ノイズに対する機器のイミュニティを調べる試験である。この試験では、図 6 に示すように電磁界発生用アンテナから一定距離(通常 3m)離れた供試体設置エリア内において電界強度が均一であることが要求されている。また、試験室の外に電波が漏洩しないよう、試験室は厳重にシールドされている必要がある。

当研究所では放射電磁界イミュニティ試験用に電磁波シールド室の 6 面の内壁を格子型フェライト電波吸収体で覆った電波全無響室を設置している。電波全無響室内では床・壁・天井の電波吸収体により定在波が抑制され、均一な電界が得られる。表 2 に当研究所の電波全無響室の主な仕様を示す。

なお、当研究所の電波全無響室について、図 7 に幾何光学的手法により電界強度分布を計算した結果を示す。フェライト電波吸収体を使用した電波全無響室では、高い周波数ほど電界強度が不均一になる傾向が見られるが、試験規格 4) に定められた電界均一性を満足する試験環境が実現されている。

(2) 放射パターンの簡易測定

当研究所の電波全無響室は放射電磁界イミュニティ試験において均一電界を得る目的で設置したものであるが、測定にも利用できる。その一例として、図 8 にアンテナの指向性(放射パターン)を測定した結果を示す。この測定では、電波全無響室内において電波の反射が抑制されており、送信側アンテナからの直接波のみが受信されることを利用している。

(3) 電磁波シールド効果の測定

不要な電磁波を遮断する為に用いられる電磁波シールド材は、電気・電子機器内部や測定室、工場、病院等様々な場所で使用されている。近年、樹脂を主成分

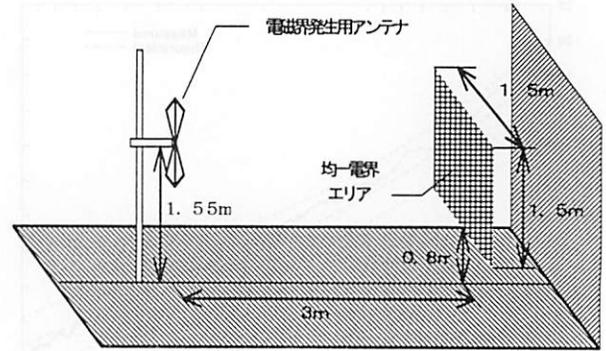
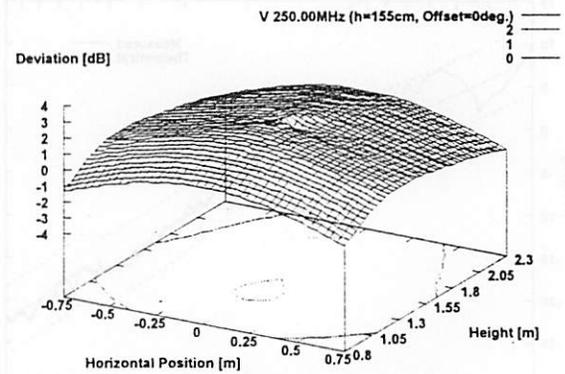
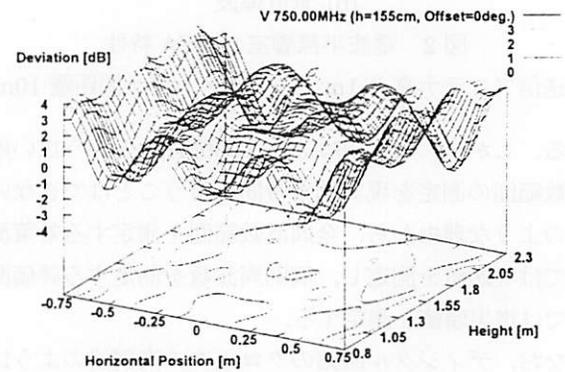


図 6 放射電磁界イミュニティ試験における電界均一エリア



(a) 垂直偏波 250MHz



(b) 垂直偏波 750MHz

図 7 電界均一エリアの電界強度分布(計算値)

表 2 当研究所の電波全無響室の主な仕様

項目	仕様
対応規格	IEC61000-4-3
内寸	7.8m(L)×4.2m(W)×4.0m(H)
搬入口	2.0m(W) × 2.1m(H)
回転台直径	2.0m
回転台最大荷重	150kg
アンテナ昇降範囲	1.00m~2.00m
シールド性能	100dB 以上(30-1000MHz)

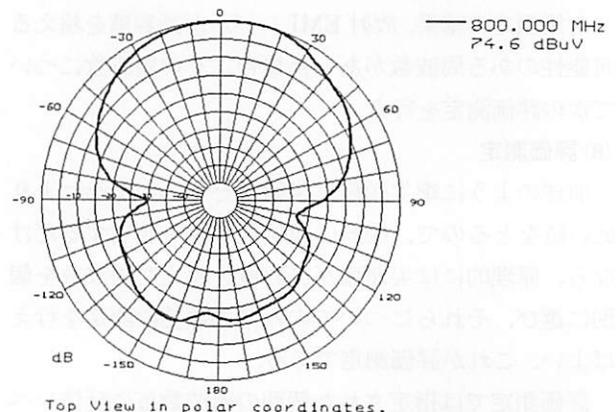


図 8 対数周期アレーアンテナの指向性の測定例(水平偏波 800MHz)

とする複合材料や薄膜技術の応用による透明素材、メッキ技術の応用による繊維素材等の新しい素材を利用したものも多数開発されている。電磁波シールド材の性能は、入射エネルギーと透過エネルギーの比であるシールド効果で表されるが、シールド材の使用場所が電波の放射源に近い場合には近接界シールド効果、放射源から遠い場合には遠方界シールド効果を用いなければならない。ここでは、電波全無響室を利用した遠方界シールド効果の測定法を紹介する。

図9に周波数1.5GHzにおける遠方界シールド効果の測定状況を示す。本測定は、電波全無響室の中央に木枠に装着した77cm×120cmの試料を配置し、2つの同等なホーンアンテナをそれぞれ試料から50cmの距離を隔てて対向させ、トラッキングジェネレータ付きスペクトラムアナライザを用いて計測した。図10に測定結果を示す。上部のトレース曲線が試料が存在しないときの受信レベルであり、下部のトレース曲線が試料を配置したときの受信レベルである。1.5GHzにおけるレベル差を見ると約28dBであり、これを試料のシールド効果とした。

図10において、試料が存在する場合のトレース曲線に凹凸が見られることから、電波の壁面反射、あるいは試料縁端からの回り込みが無視できないことがわかる。壁面反射は、電界ベクトル回転法、空間定在波法、ショートパルス法、タイムドメイン法、位相合成法等を用いればその影響を取り除くことが可能であり⁹⁾、現在検討中である。また、電波の試料縁端からの回り込みは、測定周波数が1.5GHzの場合は200cm角以上の試料を用いればその影響を無視できるものと考えられている。

4. おわりに

近年、携帯電話サービスが爆発的に普及したように、今後は2GHz帯、5.3GHz帯を用いる無線インターネットや、2000年から適用される2.4GHz帯、5.2GHz帯を用いる無線LANが急増の兆しである。高周波無線利用が活発化すると、その無線エネルギーが電気・電子機器に与える影響や、電気・電子機器から発生するノイズが通信障害を引き起こす問題が生じる為、1GHzを超える周波数におけるイミュニティ試験やEMI測定の必要性が高まるものと考えられる。さらには、高周波無線利用に供する家電製品に埋め込むアンテナや、高度道路交通システムを利用するアンテナの開発、また無線利用の過密化がもたらす混信、漏話等の通信干渉を回避する為の電波吸収体の開発も今後さらに活発

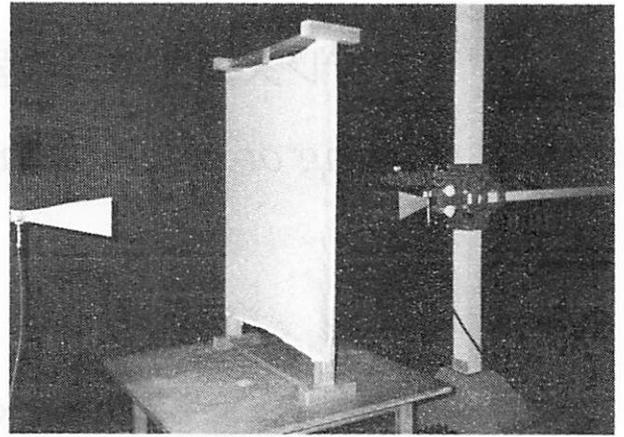


図9 遠方界シールド効果測定

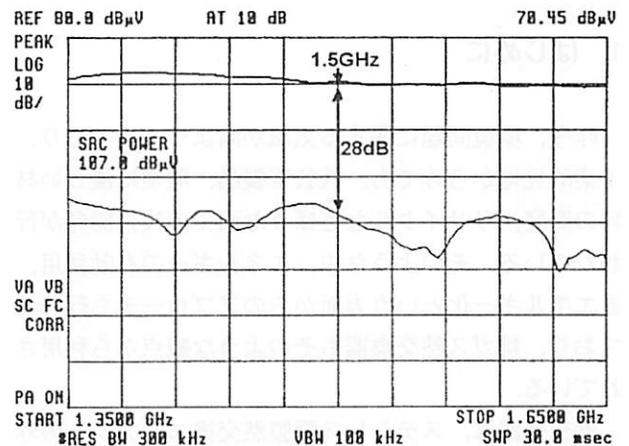


図10 シールド効果測定例

化することが予測され、それらの特性を測定できるマイクロ波電波暗室等の設備を設置する必要性も高まっている。

参考文献

- 1) CISPR Publication 16-1: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus, (1988)
- 2) ANSI C.63.4-1992: American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9kHz to 40GHz
- 3) ANSI C.63.5-1988: American National Standard For Calibration of Antennas Used for Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control
- 4) IEC 61000-4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 3: Radiated, radio-frequency, electro-magnetic field immunity test, 1995-03
- 5) 橋本 修: 電波吸収体入門, 森北出版, (1997)