

放射ノイズ測定方法の改善

佐野 照雄・河野 裕・古谷 国夫

Improvement of Radiated Emission Measurement Method

Teruo SANO, Hiroshi KOHNO and Kunio FURUYA

要 約

測定の精度向上と測定時間の短縮を目的として、当センターの簡易電波暗室内に格子型電波吸収体を敷設した場合などのサイト特性を評価した結果、電波源からの直接波と反射波の干渉による測定値への影響が減少することが確認できた。また、壁面などの電波吸収体からの反射波について検討した結果、暗室の電波特性を把握することができた。これらの結果から、測定精度を落とさずに測定時間の短縮が可能となった。

1. 諸 言

現在、電子機器相互間に誤動作やエラーを誘発する電磁ノイズ障害が問題となっている。本県の電子機器製造業においても、新製品開発を積極的に行う企業が増加してきており、今後、新製品開発においては製品設計の段階からこれらのノイズ防止対策も行わざるを得ない情勢である。電磁ノイズの測定には、オープンサイトなどの大規模な専用設備を必要とするが、設置に多大な経費が必要なため中小企業レベルでは導入が困難である。簡易電波暗室は、FCC規格、VCCI自主規制などの測定場としての要件を満たしていないが安価に設備でき、規格に準じた試験を行えるなど今後の技術普及に有効な設備である。

本研究は、簡易電波暗室を全面吸収体化することによる測定精度の向上と測定時間の短縮を目的とした。

金属的な突起物の無い平坦な金属反射（大地）面上に、非金属性のアンテナ昇降台とターンテーブルを規定の距離（3 m, 10 mおよび30 m）だけ離して設置する。アンテナ昇降台には、ノイズ受信アンテナを取り付ける。アンテナ昇降台は、試験距離 3 m の場合 1～4 m まで昇降させ、受信電圧の最大値を測定値として取得する。

この際、受信アンテナは、ノイズ源からの直接波と大地面からの反射波の重ね合わせによる電界強度を測定する。その時の電界強度は、次式によって与えられる。

$$E[\text{dB } \mu\text{V}/\text{m}] = V[\text{dB } \mu\text{V}] + A_r[\text{dB}] \quad (2-1)$$

E : 受信電界強度

V : 受信電圧

A_r : アンテナ係数

2. 簡易電波暗室での測定の問題点

2-1 測定規格

放射ノイズ測定の標準的な試験方法を図 2-1 に示す。

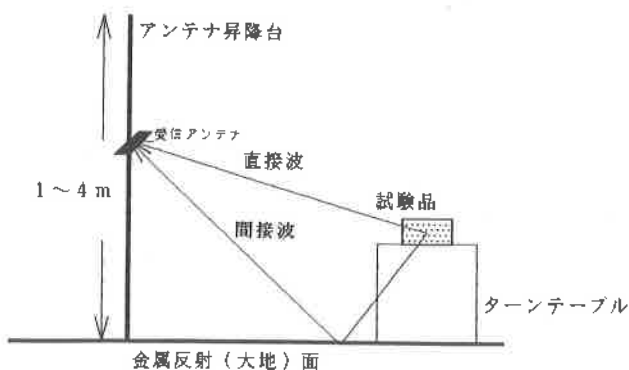


図 2-1 放射ノイズ測定方法

放射ノイズの試験場のことをサイトと呼び、サイトの特徴を表す数値をサイト特性値という。

図 2-1 のターンテーブルおよび試験品のかわりに送信アンテナを設置し（固定位置）、受信アンテナ位置を 3 m 法の場合 1～4 m 変化させ最大受信電圧を測定した値を、その周波数によるサイト特性値とする。サイト特性値の計算式¹⁾は次の通りである。

$$A_N = V_1 - V_2 - (A_s + A_r) [\text{dB}] \quad (2-2)$$

A_N : 正規化サイトアッテネーション

V_1 : 送信電圧

V_2 : 受信電圧

A_s : 送信アンテナ係数

A_r : 受信アンテナ係数

2-2 電波の伝搬とハイトパターン

反射物が全くない自由空間における電界強度の変化は、次式²⁾によって与えられる。

$$E = j60I_0 e^{-k_0 r} / r \quad [\mu V] \quad (2-3)$$

ただし、 $k_0 = 2\pi/\lambda$ (λ [m] は、電波の波長)、 I_0 は、アンテナの放射電流。これから、 E の絶対値を求めると

$$|E| = 20 \log E_0 - 20 \log r \quad [dB \mu V/m] \quad (2-4)$$

ただし、 $E_0 = 60 I_0$ とおく。

式(2-4)から、周波数に関する項が存在しないことから、距離 r における電界強度は、周波数に依存しないことがわかる。

これに対して、測定サイトにおいて反射波が存在する場合の受信電界強度は、受信アンテナの高さ位置によって変化する。この状況をハイトパターンと呼ぶ。図2-2は、簡易電波暗室内のハイトパターン測定の方法の概念図である。送受信アンテナ間の水平距離を D [m]、高さをそれぞれ h_s [m]、 h_r [m]、直接波のアンテナ間距離および間接波のアンテナ間距離をそれぞれ R_0 [m]、 R_1 [m] とすると、特定周波数における電界強度のハイトパターンは、床

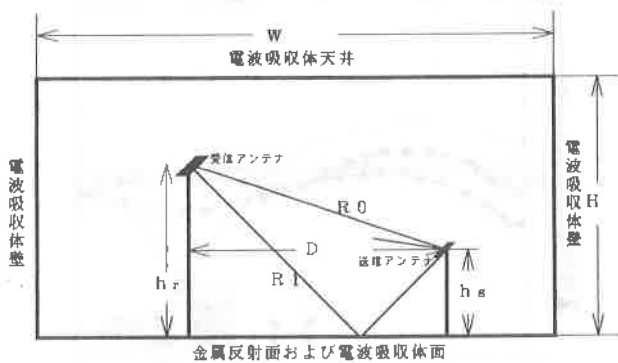


図2-2 ハイトパターン測定方法

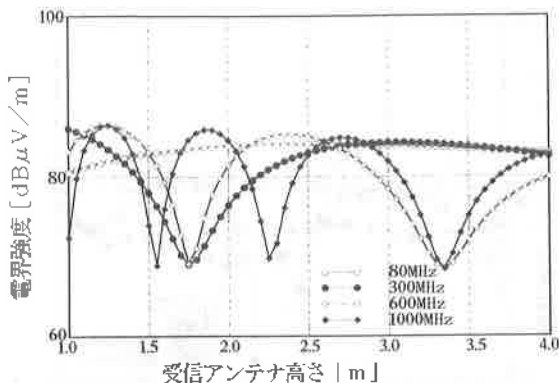


図2-3 ハイトパターン (理論値)

面以外の反射が無いと仮定すると次式³⁾によって与えられる。

$$E = j60I_0 (e^{-jk_0 R_0} / R_0 - e^{-jk_0 R_1} / R_1) \quad [\mu V] \quad (2-5)$$

これから、式(2-6)が得られる。

$$|E| = 20 \log E_0 - 10 \log \left(\left(\frac{\sin(k_0 R_0)}{R_0} - \frac{\sin(k_0 R_1)}{R_1} \right)^2 + \left(\frac{\cos(k_0 R_0)}{R_0} - \frac{\cos(k_0 R_1)}{R_1} \right)^2 \right) \quad [dB \mu V/m] \quad (2-6)$$

式(2-6)から、ハイトパターンは電波の周波数に依存していることが分かる。図2-3は、ハイトパターンの理論値である。それぞれ自由空間の場合および、80MHz、300MHz、600MHz、1000MHzの場合のハイトパターンをプロットしているが、周波数が高くなるほど電界強度の周期が短くなることが分かる。

2-3 簡易電波暗室での測定

一般の簡易電波暗室は、天井高が3mになっているうえに、アンテナ形状の影響から受信アンテナは1~2mの間でしか昇降させることができないため、図2-3から大地反射面が存在する場合、ハイトパターンは、周波数が高い場合ほど変化し、周波数が低い場合は、規格測定における電界強度の最大値を得ることができないことが分かる。ハイトパターンの変化により、ノイズ測定の際に正確な最大値を得るために、アンテナ高さを細かく設定して測定することが必要となるため、ノイズ測定に長時間を必要とする。これに対して、6面に電波吸収体を敷設して擬似的な自由空間状態とした場合は、周波数に依存しない様な減少曲線を得ることができることが分かる。ノイズ測定の時間短縮は、受信アンテナを特定高さに固定して測定を行い、その測定値にハイトパターンによる最大値の補正を行うことによって可能となることが予想される。

3. 実験方法

3-1 使用機器および設備

使用機器および設備を表3-1に示す。

表3-1 使用機器および設備

項目	使用機器および設備名	備考
測定環境	簡易電波暗室	電波半無響室(床面-金属面) 寸法 D7m×W3m×H3m
測定装置	EMC測定システム	特アドバンテスト R2541
アンテナ	半波長ダイポールアンテナ バイコンカルアンテナ ログペリオディックアンテナ	測定周波数25~1000MHz 測定周波数30~300MHz 測定周波数300~1000MHz

3-2 電波吸収体

簡易電波暗室の壁および天井には、フェライトと誘電体の2層構造の電波吸収体を使用されているが、今回は、高性能と言われている格子型フェライト電波吸収体を金属反射面に敷設した。

3-3 実験方法

送信アンテナには、半波長ダイポールアンテナ (30~1000MHz) を使用した。受信アンテナには、バイコンカルアンテナ (30~300MHz) とログペリオディックアンテナ (300~1000MHz) を使用した。EMC測定システムのスペクトラムアナライザ (SPA) のトラッキングジェネレータ (TG) から送信アンテナに97 [dB μ V] の出力を供給し、受信アンテナを1 m~2 mの間で昇降させて受信し、プリセクタを介してSPAへ入力し、ハイトパターンを測定した。この実験は電波吸収体を敷設した状態 (擬似的電波無響室状態) としない状態 (半電波無響室状態) で行った。測定周波数は、VCCIの周波数系列に準じ、電波吸収体の敷設状態を図3-1に示す。

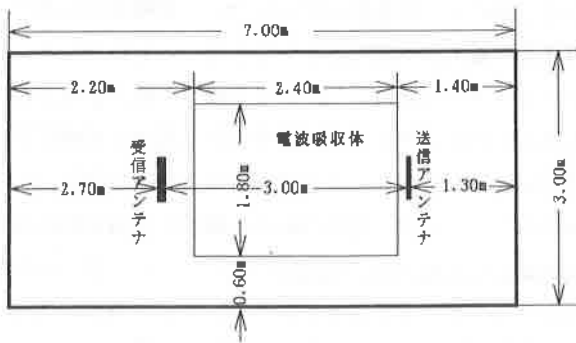


図3-1 電波吸収体の敷設状態

4. 実験結果および考察

4-1 ハイトパターンの測定結果

床面が金属反射面状態 (吸収体なし、●印) と電波吸収体を敷設した状態 (◆印) のハイトパターン (水平偏波) の測定結果を図4-1から図4-4に示す。図4-1は、80MHzの測定結果と式(2-6)から計算した理論値 (○印) および自由空間 (◎印) の理論値である。理論値および実測値ともほぼ80 [dB μ V/m] 前後であり、電波吸収体を敷設することにより、 ± 2 dB以内で理論値と一致した結果を得た。図4-2は300MHzの測定結果であり、金属反射面と電波吸収体敷設とを比較すると、曲線はフラット化していることが確認でき、アンテナ高さによる影響を少なくすることができた。理論値と実測値を比較すると電界強度のレベルが最大10dB程度違うこと、また、ハイトパターンの周期が理論値と実測値で違うことも認め

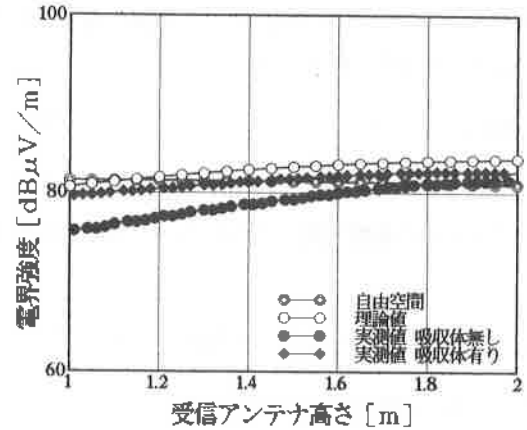


図4-1 ハイトパターン (80MHz)

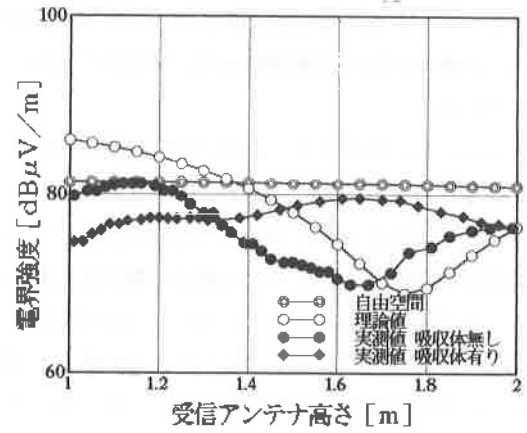


図4-2 ハイトパターン (300MHz)

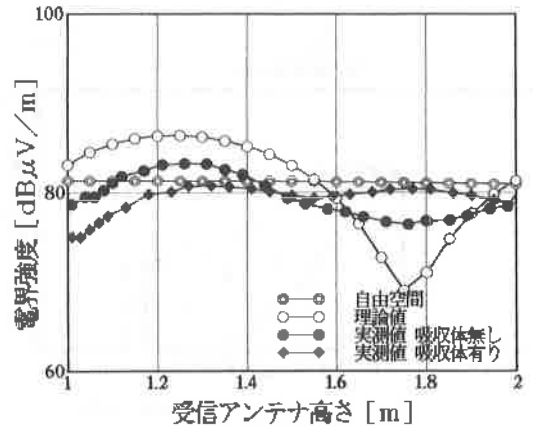


図4-3 ハイトパターン (600MHz)

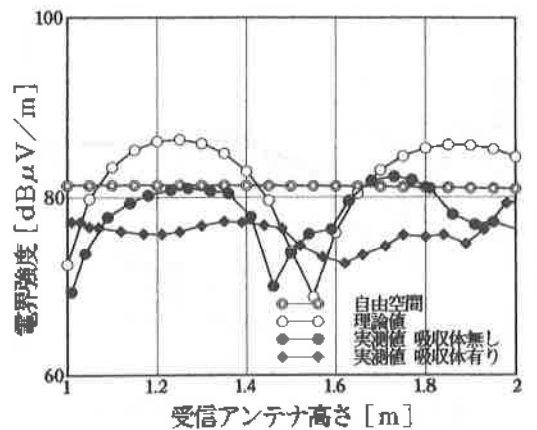


図4-4 ハイトパターン (1000MHz)

られる。図4-3は600MHzの測定結果であり、電波吸収体を敷設した場合、アンテナが低位置の場合をのぞき、曲線のフラット化が認められた。ただし、理論値と実測値を比較すると電界強度のレベルが最大10dB程度違うこと、また、電界強度の振幅が理論値に比べ実測値の振幅が小さいことが認められた。図4-4は1000MHzの測定結果であり、電波吸収体を敷設した場合、全域に渡り、明確なフラット化が認められた。ただし、この場合も理論値と実測値を比較すると電界強度のレベルが15dB程度違うこと、実測値には、大きな周期に小さな周期が重畳しているような結果が得られた。

いずれの測定の結果においても、ほぼ全域に渡りフラット化していることが確認できた。

4-2 放射ノイズ測定系の改善について

実際の電子機器は放射アンテナと違って立体的な筐体を持し電磁ノイズの高さ方向および平面的な放射位置が確定できないため、ハイトパターンが存在すると受信電界強度変化が発生する。従って、アンテナ位置を固定した場合精度の高い補正を行うことが難しくなる。受信電界強度がフラット化することによって、放射ノイズの発生源の位置の影響を低減することができる。

ハイトパターンの測定結果から測定周波数80~1000MHzに渡り、フラット化していることが確認された。これにより、アンテナ高さの影響を減らし、測定時間の短縮を図ることが可能である。

また、アンテナから電磁波を被試験機器に与えて、ノイズに対する感受性を測定するノイズ試験があるが、電界強度分布の均一性が要求される。今回の実験で電界分布の均一性も実現可能であることがわかった。

4-3 電波暗室の電波特性

ハイトパターンの測定結果から、理論値と実測値のハイトパターンが一致していないことが明らかになった。このことは、理論式(2-6)の導出のための前提が、不十分なためと考えられた。そこで以下のような補正を行い、理論式を再導出した。

当初、図2-2のように電波の伝搬経路を直接波と金属反射波の2経路と仮定した。しかし、実際の簡易電波暗室は、現在ではフェライトタイルの特性上30~1000MHzの規格測定の全領域に渡り、十分な減衰量(20dB以下)を得ることはできないため、電波の伝搬経路を図4-5のように仮定する。水平偏波の電波を考えると、指向性の関係から左右の壁の影響は無視できるものと仮定し、伝搬経路を図のR₀~R₄の5経路と仮定する。電波吸収体の反射係数は、周波数によって変化し、入射角度によっても変化するため取扱いが難しいが、今回は、入射角度による吸収特

性の変化は無視した。壁面の効果を配慮し式(2-5)を拡張したのが次式である。

$$E = j60I_0 (e^{jk_0 R_0} / R_0 - e^{-jk_0 R_1} / R_1 - e^{-jk_0 R_2} / R_2 - e^{-jk_0 R_3} / R_3 - e^{-jk_0 R_4} / R_4) [\mu V] \quad (4-1)$$

式(4-1)を変形すると次式が求められる。

$$|E| = 20 \log E_0 - 10 \log \left(\frac{\sin(k_0 R_0)}{R_0} + A_1 * \frac{\sin(k_0 R_1)}{R_1} + A_2 * \frac{\sin(k_0 R_2)}{R_2} + A_3 * \frac{\sin(k_0 R_3)}{R_3} + A_4 * \frac{\sin(k_0 R_4)}{R_4} \right)^2 + (\cos(k_0 R_0) / R_0 + A_1 * \frac{\cos(k_0 R_1)}{R_1} + A_2 * \frac{\cos(k_0 R_2)}{R_2} + A_3 * \frac{\cos(k_0 R_3)}{R_3} + A_4 * \frac{\cos(k_0 R_4)}{R_4})^2 [dB \mu V / m] \quad (4-2)$$

ただし、A₁, A₂, A₃, A₄は、壁面などの反射係数である。

式(4-2)から、金属反射面の場合の理論値の修正を行った結果を図4-6~4-9までに示す。金属反射面の反射係数はA₁ = -1とし、80MHz(A₂ = A₃ = A₄ = -0.1), 300MHz(A₂ = A₃ = A₄ = -0.1), 600MHz(A₂ = A₃ = A₄ = -0.2), 1000MHz(A₂ = A₃ = A₄ = -0.4)として計算した。この結果、それぞれ式(2-6)から求めた理論値に比べ、実測値に近づくことが確認された。電波吸収体を敷設した場合についても、同様な結果が

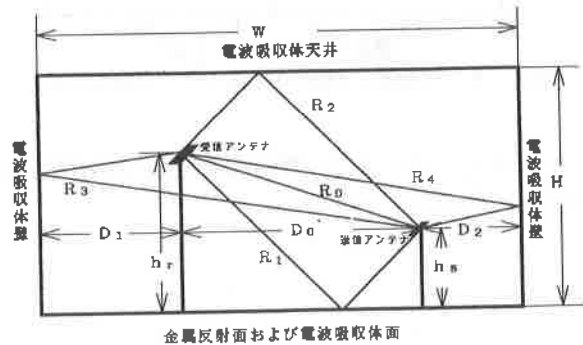


図4-5 簡易電波暗室内での電波反射

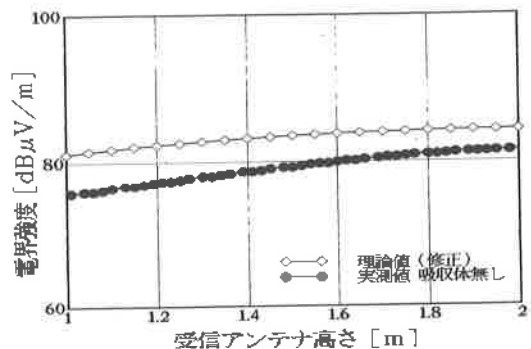


図4-6 実測値と理論値(修正)(80MHz)

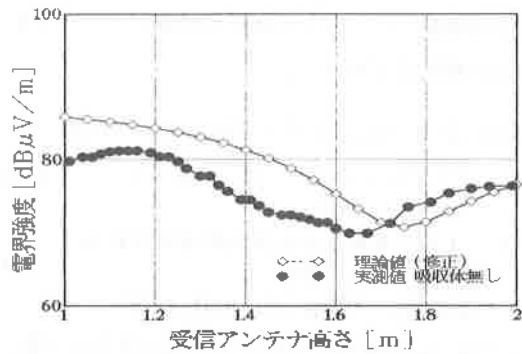


図4-7 実測値と理論値(修正) (300MHz)

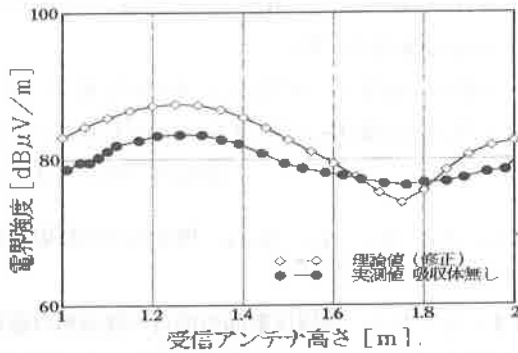


図4-8 実測値と理論値(修正) (600MHz)

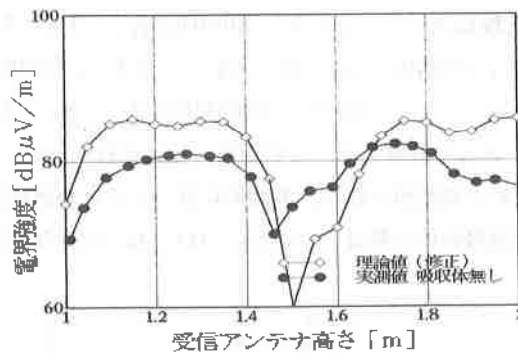


図4-9 実測値と理論値(修正) (1000MHz)

得られている。これにより、簡易電波暗室の電波特性の正確な把握に近づいたと考えられる。

5. 結 言

センターの簡易電波暗室内に格子型電波吸収体を敷設した場合のサイト特性を評価した。その結果、電波源からの直接波と反射波の干渉による測定値への影響が減少することが確認できた。これにより、測定時のアンテナ昇降回数を減らして、測定時間の短縮が可能となった。また、電界強度分布の均一性が得られたことにより、電子機器の感受性試験への適用が可能となった。

その他、壁面などの電波吸収体からの反射波について検討することにより、暗室の電波特性を把握することができた。

なお、本研究に使用したEMC測定システムは、平成3年度日本小型自動車振興会の補助金により設置された備品である。また、本研究を行うにあたってテレビ山梨サイエンス振興基金の助成を頂いた。

文 献

- 1) 赤尾保男：環境電磁工学の基礎，電子通信情報学会，p.276
- 2) 松本欣二：電波工学入門，朝倉書店，p.52
- 3) 上崎省吾：電波工学第2版，サイエンスハウス，p.104