

Appraisal as RF Anechoic Chamber Over 1GHz

Kazushige JOUNOUCHI

当所簡易電波暗室をNSA法により評価するため、モーメント法により相互インピーダンス補正係数の解析を行った。解析結果を用いて評価を行った結果、水平偏波において基準値との偏差が大きいことがわかった。また、FDTD法による解析を行うことで、1 [GHz]を超える帯域におけるターンテーブル等の付帯設備の影響が無視できないことがわかった。

1. はじめに

近年の情報機器の高度化における動作速度の高速化、無線利用における周波数帯域の高周波化等により、電磁波に関する規制が従来よりも高い周波数に拡張されつつある。これに伴い放射電磁波の測定も従来1 [GHz]までであったものが1 [GHz]を超える帯域での測定も求められるようになってきた。当研究所においても1 [GHz]を超える帯域での測定に対する企業からの要望は多く、平成17年度電源立地地域対策交付金事業により7 [GHz]までの測定が可能なシステムの導入を行った。しかし、当所の電波暗室は1 [GHz]以下の測定を目的とした5面簡易電波暗室であり、1 [GHz]を超える帯域での測定に求められる自由空間を満足できず、これらの帯域における測定の要望に対応出来ないのが現状である。そこで、新たに電波吸収体を追加設置し、求められる自由空間を得ることが可能かを調査するため、現在の暗室特性の評価、規格化の動向調査、電波吸収体の調査を行うべく、本研究を行うこととした。

1 [GHz]までの電波暗室の特性評価にはNSA法が用いられるが、それに必要な相互インピーダンス補正係数は当所のような簡易電波暗室については示されていない。本年度は、モーメント法による電磁界解析プログラムを作成し、ダイポールアンテナのアンテナ係数及び相互インピーダンス補正係数の解析を行った。また、誘電体による暗室特性への影響を解析するため、FDTD法による電磁界解析プログラムを作成し、最も影響の大きいと思われるターンテーブルが電磁波の放射にどのような影響をあたえるかシミュレーションを行った。

2. NSA (Normalized site attenuation) 法

2.1 NSA法の概要¹⁾

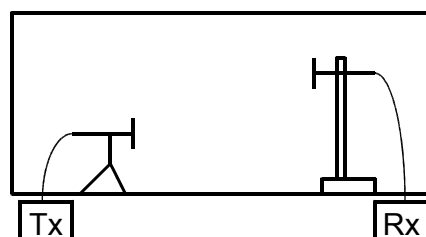
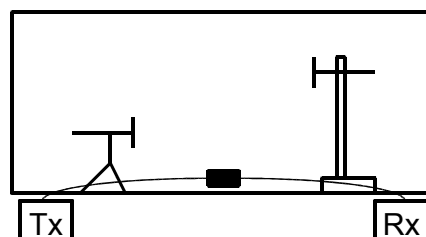
送信機・受信機を校正された送・受信アンテナに接続し、受信電圧を測定する。このとき、送信アンテナ高は固定とし、受信アンテナ高を規定の範囲で変位させた時の最大受信電圧を V_{SITE} とする(図1-1)。次に、アンテナからケーブルを取り外し、それを直結した時に得られる電圧 V_{DIRECT} を測定する(図1-2)。これらの値から、次式により電磁波の伝播損失 A_N を測定し、次項によって計算するNSA基準値との偏差により放射電磁波の測定環境を評価する手法である。

$$A_N = V_{DIRECT} - V_{SITE} - AF_T - AF_R - \Delta AF_{TOT} \quad \dots (1)$$

AF_T : 送信アンテナ係数

AF_R : 受信アンテナ係数

ΔAF_{TOT} : 相互インピーダンス補正係数

図1-1 V_{SITE} の測定図1-2 V_{DIRECT} の測定

2.2 NSA基準値²⁾

NSA基準値 A_N は、次式によって表される。

$$A_N = 32 - 20 \log F - 20 \log E_{\max} \quad \dots (2)$$

F : 周波数 [MHz]

ここで、 E_{\max} は受信点を規定の高さで変位させた時の最大受信電圧であり、受信電圧は送信点からの直接波と完全導体グラウンドプレーンによる反射波の重ね合わせにより、各偏波において次式により表される。

$$E_H = \left| \frac{e^{-jkR}}{R} - \frac{e^{-jkr}}{r} \right| \quad \dots (3.1)$$

$$E_V = \left| \frac{e^{-jkR}}{R} \cos^2 \theta_1 - \frac{e^{-jkr}}{r} \cos^2 \theta_2 \right| \quad \dots (3.2)$$

$$R = \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + D^2}$$

$$r = \sqrt{(h_2 + h_1)^2 + D^2}$$

$k = 2\pi/\lambda$: 波数

$\theta_1 \cdot \theta_2$: 直接波・反射波の入射角

D : 送・受信アンテナ間距離

$h_1 \cdot h_2$: 送・受信アンテナ高

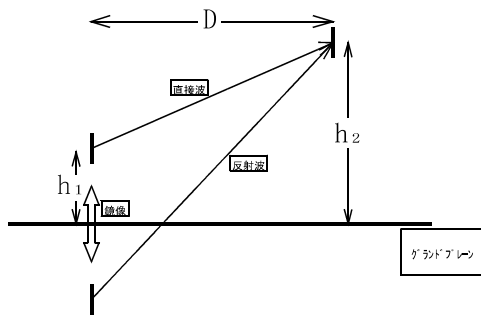


図2 NSA基準値の幾何光学近似

2.3 相互インピーダンス補正係数

NSA基準値は幾何光学近似により理論値を導出している。しかし、実際の測定時には送・受信アンテナとして半波長同調ダイポールアンテナを用いており、送・受信アンテナ間及びグラウンドプレーンに投影されたアンテナとの相互結合の影響により、アンテナの特性は高さの関数として変化する。ここで、式(1)におけるアンテナ係数(AF_T , AF_R)は特定の条件で校正した値(定数)であり、相互結合の影響を補正する目的で、相互インピーダンス補正係数が導入されている。

3. モーメント法³⁾

3.1 モーメント法の概要

モーメント法は、導体を微小長さには区切り、導体表面における電界が零であるとの境界条件を適用し、アンテナに流れる電流分布をMaxwellの積分方程式より導かれる連立一次方程式を解くことにより、周波数領域で解析を行う方法である。

3.2 モーメント法による解析

当所簡易電波暗室の相互インピーダンス補正係数を求めるため、伝播損失 A_N をモーメント法により解析し、前項で求めたNSA基準値との差をもって決定した(表1)。以下に解析条件を示す。

- ・アンテナの直径は9 [mm]とする。
- ・80 [MHz]以下の周波数においては80MHz同調ダイポールアンテナ(固定長)を用いる。
- ・アンテナファクタは2 [m]における値を用いる。
- ・送信アンテナ高は水平・垂直共に1 [m]とする。
- ・受信アンテナ高は当所簡易電波暗室での走査範囲である1~2 [m]とする。

表1 簡易電波暗室でのNSA基準値及び相互インピーダンス補正係数

周波数 [MHz]		300	250	200	180	160	140	120	100	90
水	A_N [dB]	-12.8	-11.7	-9.6	-8.6	-7.4	-6.0	-4.2	-2.0	-0.6
	ΔAF_{TOT} [dB]	-0.2	1.7	-2.1	-1.3	-0.2	-1.2	-0.6	2.7	3.2
垂	A_N [dB]	-10.5	-7.7	-3.2	-1.2	-1.7	-1.8	-1.5	-0.7	-0.1
	ΔAF_{TOT} [dB]	0.6	1.5	0.2	-0.6	-0.2	-2.0	-1.7	2.5	4.2
周波数 [MHz]		80	70	60	50	45	40	35	30	
水	A_N [dB]	1.1	3.1	5.5	8.4	10.1	11.9	14.1	16.5	
	ΔAF_{TOT} [dB]	2.3	-0.7	-0.2	0.8	1.3	1.7	2.3	3.2	
垂	A_N [dB]	0.6	1.5	2.6	4.0	4.9	5.8	6.9	8.2	
	ΔAF_{TOT} [dB]	4.1	-0.6	-1.1	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	

4. NSA法による評価

前項で決定したNSA基準値及び相互インピーダンス補正係数を用い、当所簡易電波暗室をNSA法により評価した。

この結果、垂直偏波(図3-1)では適合条件であるNSA基準値 ± 4 [dB]に入っているものの、水平偏波(図3-2)では低い周波数の領域で大きく基準からはずれていることがわかった。これらの結果とアンテナの特性から以下のことが推察できる。

- ・壁面による影響を多く受ける垂直偏波の特性が評価条件に適合していることより、電波吸収体はこの領域では十分な特性を持っている。
- ・グランドプレーンによる影響を多く受ける水平偏波の特性が大きく基準からはずれていることより、グランドプレーンの性能が十分でないことが示唆される。

当所簡易電波暗室は幅が3[m]しかなく、使用するアンテナの大きさに対して十分なグランドプレーンを確保できていない。このことが水平偏波での特性を悪化させる要因と考えられる。電波吸収体を追加設置することにより暗室の容量はさらに小さくなるため、この帯域に対する特性の悪化に対し特に注意を要する結果となった。

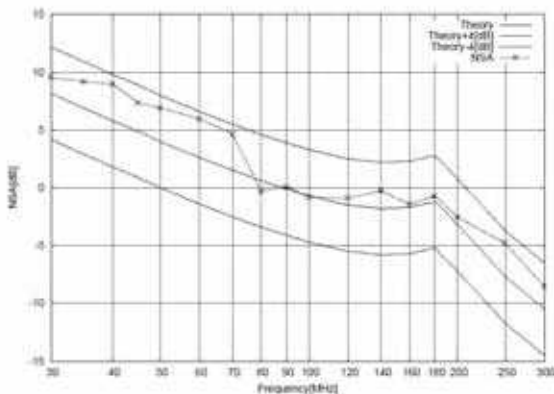


図3-1 NSA法による評価(垂直偏波)

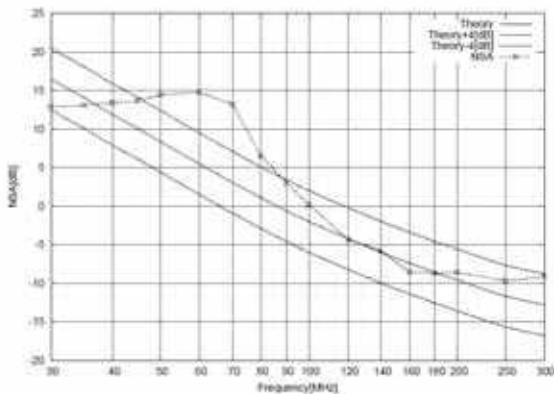


図3-2 NSA法による評価(水平偏波)

5. FDTD(Finite Difference Time Domain)法⁴⁾

5.1 FDTD法の概要

FDTD法は、解析空間を図4の様に辺上に電界・面上に磁界を配置した微小領域(Yeeセル)に分割し、空間的・時間的に離散化を行い、Maxwellの微分方程式により解析を行う手法である。誘電体による散乱の解析が比較的簡単に行え、過渡応答が観察でき、また入力信号を適切に選ぶことにより、その応答から広域の周波数特性を一度に得ることが出来る等の特徴をもつ。また、解析領域を吸収境界で囲むことにより、自由空間での解析を行うことも可能である。

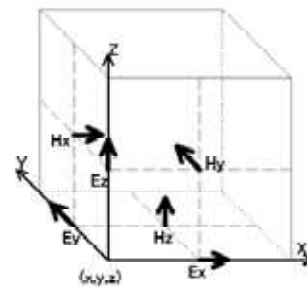
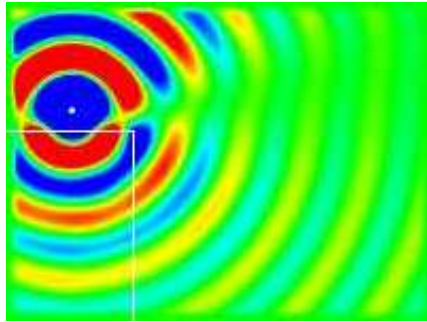


図4 Yeeセル

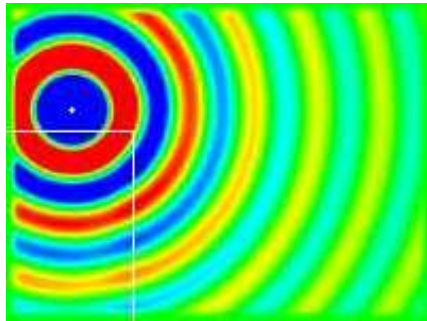
5.2 FDTD法による解析

電波暗室は、周囲を囲む電波吸収体・グランドプレーンの他に、試験体を設置・回転するためのテーブルや受信アンテナを支持・昇降するためのアンテナマスト等様々な物体があり、周波数が高くなるにつれて、その影響は無視できないものとなってくる。ここで、1 [GHz]以上の周波数帯域での測定は自由空間であり、受信アンテナはホーンアンテナ等の指向性の強いアンテナを用いることから、試験体を支持するターンテーブルによる影響が最も大きいと思われる。

今回、ターンテーブルによる影響の解析を行うため、FDTD法により解析を行った。テーブルの材質は高さ80[cm]の発泡スチロールブロックと、高さ79[cm]の発泡スチロールブロックに厚さ1[cm]の木板をのせたものの2つをモデリングした。このテーブルの上10[cm]に1 [GHz]の正弦波を印加した水平半波長ダイポールアンテナを配置し、電界の放射パターンにより比較を行った。解析条件は、セルサイズ5 [mm]、吸収境界条件8層PML、発泡スチロールの比誘電率1.1、木の比誘電率4.0としている。この結果、木板をのせたテーブルではヌルとなる空間ができ、テーブルの材質が測定に大きな影響を及ぼすことが示唆された(図5)。



発泡スチロール+木板



発泡スチロールブロック

図5 テーブルの材質による影響

6. まとめ

現状の特性を評価することにより、水平偏波の低い周波数領域での測定に注意を必要とすることがわかった。このような傾向は、以前から測定をとおし認識されていたが、今回の解析により定量的にとらえる事ができた。この結果から、対策用測定における目標値設定の目安など、当所簡易電波暗室の特性に関する使用者への情報提供が可能となった。

参考文献

- 1) 電技審諮問第3号「国際無線障害特別委員会の諸規格について」
- 2) 清水康敬他：最新 電磁波の吸収と遮蔽，日本技術図書，450-457(1999)
- 3) 小暮裕明他：パソコンによるアンテナ設計，CQ出版社，35-39(1998)
- 4) 宇野亨：FDTD法による電磁界およびアンテナ解析，コロナ社，1-102(1998)