

## 小型電波無響室サイト減衰量のラージセルを用いた FDTD 解析法

正員 川畑 将人\*      非会員 石田 康弘\*  
 正員 島田 一夫\*\*      正員 桑原 伸夫\*\*\*

### FDTD Method for Site Attenuation Analysis of Compact Anechoic Chamber Using Large-Cell Concept

Masato Kawabata\*, Member, Yasuhiro Ishida\*, Non-member,  
 Kazuo Shimada\*\*, Member, Nobuo Kuwabara\*\*\*, Member

In this paper, the FDTD method has been applied to analyze the site attenuation of an anechoic chamber at 100 MHz or less where the ray tracing method is not applicable. To calculate site attenuation by a personal computer, the dipole antenna and the EM absorber were modeled by the large-cell which was larger than the diameter of antenna element and the thickness of EM absorber. The equivalent diameter of the antenna element was determined so that the calculated site attenuation in free space agreed with that by the method of moment, and the equivalent dielectric constant and permeability of the absorber were determined so that the reflection coefficient agreed with that by the transmission theory. The site attenuation of the compact anechoic chamber was calculated for frequencies from 30 MHz to 100 MHz and compared with the measured one to confirm the validity of the proposed modeling method. The results indicated that the deviation between the calculated values and the measured ones was within 2 dB.

キーワード：FDTD 法，電波無響室，サイト減衰量，短縮ダイポールアンテナ，フェライトタイル

Keywords：FDTD method, anechoic chamber, site attenuation, shortened dipole antenna, ferrite tile

## 1. はじめに

近年，電気・電子機器から発生する電磁波による放送受信波や他の機器への障害が問題となっている。そのため，CISPR（国際無線障害特別委員会）では国際規格を発行している<sup>(1)</sup>。また，各国，各地域で規制が実施されており，米国では FCC（米国連邦通信委員会），国内では電気用品安全法，VCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）等により規制が実施されている<sup>(2)(3)</sup>。これらの規制に対応するためには，オープンサイトや大型電波無響室等の試験サイトで適合試験を実施し，放射妨害波のレベルが規格で定めら

れた許容範囲内であることを実証する必要がある。

適合試験を行なうにあたっては，事前に予備試験を実施し十分に対策を施さなければならない。予備試験はコストの面から小型電波無響室等の簡易サイトで行なわれることも多いが，測定距離が異なるため，適合試験を実施する試験サイトとのデータ相関が必要となる。サイト間の相関性の検討には電磁界解析による理論評価が有効であるが<sup>(4)</sup>，小型電波無響室では，被試験体および受信アンテナと電波吸収体との距離が近くなるため，電波吸収体からの反射の影響が大きくなり，無響室内の電波伝搬の挙動が複雑になると予想される。そのため，電波吸収体を含めた電波無響室の理論評価手法の確立が重要となる。

電波無響室の理論的評価手法の代表的なものにサイト減衰量<sup>(5)</sup>があり，いくつかの検討結果が報告されている<sup>(6)~(7)</sup>。サイト減衰量の解析手法としては，レイトレーシング法が一般的であるが，電磁波を光線近似しているため，電波無響室の寸法が波長と同程度となる 100MHz 以下の周波数帯での適用は困難である<sup>(5)</sup>。また，低周波数帯域への適用が可能なモーメント法による解析<sup>(6)</sup>や，FDTD 法による解析<sup>(7)</sup>が報告されているが，電波吸収体を厳密にモデル化した理

\* 福岡県工業技術センター  
 〒807-0831 北九州市八幡西区則松 3-6-1  
 Fukuoka Industrial Technology Center  
 3-6-1, Norimatsu, Yahatanishi-ku, Kitakyushu 807-0831  
 \*\* (株)リケンエレテック  
 〒360-8522 熊谷市末広 4-14-1  
 Riken Eletech Corporation  
 4-14-1, Suehiro, Kumagaya 360-8522  
 \*\*\* 九州工業大学工学部電気工学科  
 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1  
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
 Kyushu Institute of Technology  
 1-1, Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu 804-8550

論解析はまだなされていない。さらに、FDTD法<sup>(8)(9)</sup>を用いれば理論的には解析可能であるが、セルサイズをアンテナのエレメント径や電波吸収体の厚さに比べて小さくすると、莫大なメモリと計算時間が必要となる問題点がある。

本論文では、100MHz以下の周波数帯における電波無響室の理論評価をPC程度の計算機で可能とする手法の確立を目的として、アンテナのエレメント径や電波吸収体の厚さに比べて大きなセル（以下ラージセルと呼ぶ）を用いたFDTD法によるサイト減衰量解析法を検討する。まず、検討に使用するアンテナとして半波長ダイポールアンテナおよび短縮ダイポールアンテナ<sup>(3)(10)</sup>を等価エレメント径を用いてモデル化し、次に電波吸収体として使用しているフェライトタイルを等価誘電率、等価透磁率を用いてモデル化する。そして、これらのモデル化をもとに小型電波無響室のサイト減衰量を解析し、測定値と比較する。

## 2. 電波無響室のサイト減衰量解析に用いるセルサイズ

サイト減衰量は送受信アンテナを空間に対向して配置しアンテナ間の伝搬特性を評価するものである。電波無響室の場合、この伝搬特性は周囲の電波吸収体の影響を受けるため、電波吸収体と送受信アンテナを含めた解析が必要になる。モーメント法は線状アンテナの解析に優れているが、電波吸収体等の誘電・磁性材料の扱いが困難である。一方、FDTD法は誘電・磁性材料の扱いは容易であるが、差分法であるため解析空間全体を離散化する必要があり、精度の高い結果を得るためには、セルサイズを細かくする必要がある。電波無響室の評価に使用するアンテナのエレメント

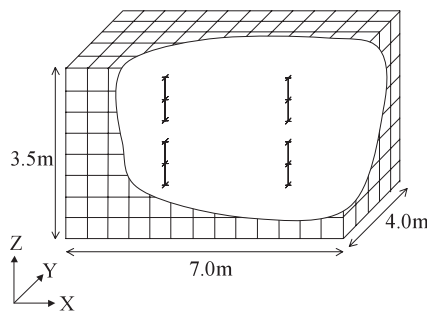


図1 小型電波無響室の離散化モデル

Fig. 1. Discrete model of compact anechoic chamber.

表1 セルサイズと使用メモリ、計算時間の関係

Table 1. Relation of cell size to memory and calculation time.

Cell size	Number of cells	Memory size	Calculation time
40 mm	1.54 million	41 MB	70 minutes
20 mm	12.25 million	327 MB	1,120 minutes
10 mm	98.00 million	2,617 MB	N/A

径や電波吸収体の厚さはともに10mm以下となるため、セルサイズを最大でも10mm以下に設定しなければならないが、PCの場合、計算機の能力上扱えるセルサイズには制限がある。

小型電波無響室の離散化モデル例を図1に、図1のモデルにおけるセルサイズとセル数、メモリ、計算時間の関係を表1に示す。なお、計算時間はPentium4-2.8GHz搭載のPC（メモリ：DDR333-1GB）において30MHzの正弦波を10周期計算した場合の時間である。表1より、計算時間を考慮すると小型電波無響室の解析に用いるセルサイズは40mm程度が限界となる。よって、本論文ではアンテナのエレメント径や電波吸収体の厚さに比べて大きいセル（ラージセル）を用いて電波無響室のサイト減衰量を解析する方法を検討した。

## 3. 電波無響室のサイト減衰量解析モデル

サイト減衰量の評価には通常半波長ダイポールアンテナが使用される<sup>(3)</sup>。しかし、小型電波無響室では無響室内の寸法が30MHzにおける半波長より小さいため、80MHz以下ではエレメント長を80MHzの半波長に固定した短縮ダイポールアンテナが使用される<sup>(3)(10)</sup>。そこで、本論文では送受信アンテナとして80MHz以上では半波長ダイポールアンテナを、80MHz以下では短縮ダイポールアンテナを使用した。また、これらの小型電波無響室ではフェライトを用いた複合型電波吸収体を使用される。しかし、通常低い周波数帯ではフェライトタイルによる電波吸収作用が主となるので、本論文では電波吸収体としてフェライトタイルのみを考慮した。以下これらのアンテナおよび電波吸収体のモデル化手法について述べる。

**〈3・1〉 ダイポールアンテナのモデル化** PC程度の計算機で電波無響室の解析を行なう場合はラージセルを用いなければならないが、ラージセルによるアンテナのモデル化ではアンテナ形状を正しく模擬することができないため近傍界の解析で誤差が生じる。これまで、セルより細い導体のモデル化手法としてサブセル法<sup>(11)</sup>が提案されており、多くのFDTDシミュレータで採用されている。

そこで、ダイポールアンテナ（Schwarzbeck VHAP）を使用した場合の自由空間のサイト減衰量（CSA）をサブセル法により求め、モーメント法による結果との比較を行なった。小型電波無響室への適用を考慮して、80MHzより低い周波数についてはエレメント長を80MHzにおける半波長に固定した短縮ダイポールアンテナとし、80MHz以上ではエレメント長を半波長とした。CSAの定義は文献<sup>(10)</sup>に従った。

計算に当たっては、アンテナ間の水平距離を3mとし、セルサイズが40mmに近い値となるように80MHz以下のエレメントは47分割、90MHzで41分割、100MHzで37分割とした。その時のセルサイズはそれぞれ39.89mm、40.65mm、40.54mmである。PML吸収境界により自由空間を模擬し、アンテナからPML吸収境界までの距離を $\lambda/2$

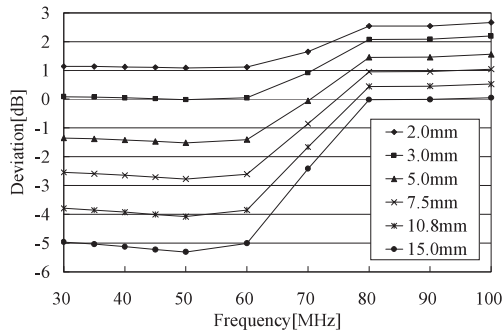


図2 自由空間のCSA解析結果

Fig. 2. Deviation from CSA by MoM to the one by FDTD in free space.

以上とした。サブセル法のエレメント径は 2.0mm から 15.0mm まで変化させた。なお、通常の FDTD 法による解析はサブセル法においてセルサイズに 0.27 を乗じたエレメント径の場合と等価的に等しくなる<sup>(8)</sup>。よって、本解析では 10.8mm のエレメント径の場合に相当する。

モーメント法の解析には汎用解析ツールである NEC2<sup>(12)</sup> を使用し、エレメントを 25 セグメントに分割した。また、ワイヤ径は文献<sup>(10)</sup>に示される入力インピーダンス特性と一致する 7.5mm とした。

解析結果を図 2 に示す。縦軸はモーメント法の結果との偏差で、2.0mm から 15.0mm はそれぞれエレメント径に対応したサブセル法の結果を示している。図 2 より、短縮ダイポールアンテナ (30MHz から 70MHz) では、通常の FDTD 法 (10.8mm) で最大 4dB 以上の偏差が生じ、モーメント法と同じエレメント径 (7.5mm) の場合でも 1dB 程度改善されるが最大 3dB 程度の偏差が生じている。また、半波長ダイポールアンテナ (80MHz から 100MHz) では、両者とも偏差は 1dB 以内となるが、通常の FDTD 法に比べ 7.5mm のサブセル法の方が偏差は大きくなっている。これは、サブセル法を用いてもこの径を適用する限り、給電点およびエレメント上の電流分布が十分模擬できていないことを意味している。一方で、エレメント径を適切に選ぶことによりモーメント法に近い結果を得ることができる。

図 2 において偏差が 0.1dB 以下となるようにして求めたエレメント径の最適値を図 3 に示す。図より、等価エレメント径は、短縮ダイポールアンテナでは 70MHz で 5.0mm となるがそれ以外の周波数では 3.0mm で一定となる。また、半波長ダイポールアンテナでは 15.0mm で一定となる。

次に、これらのエレメント径を用いたサブセル法およびモーメント法による理想的なオープンサイトの CSA 解析を実施し、基準値との比較を行なった。各周波数におけるエレメント径は図 3 に示す値を用いた。オープンサイトは下面を完全導体とし、4 側面と上面を PML 吸収境界とした。送信アンテナの高さは規格に従い、30MHz から 70MHz で 1m、80MHz から 100MHz で 2.75m とした。受信アンテナの高さは、1m から 4m まで走査させなければならないが、

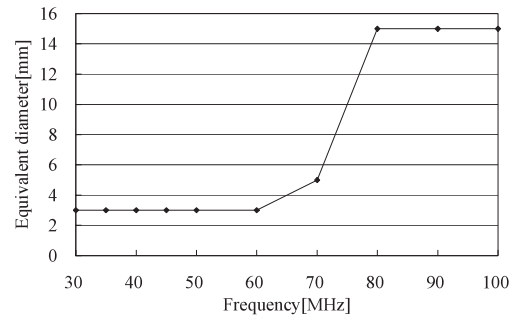


図3 等価エレメント径

Fig. 3. Equivalent diameters.

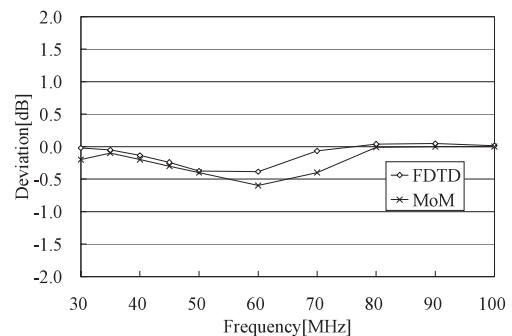


図4 CSA解析結果とVCCI基準値との偏差

Fig. 4. Deviation from VCCI standard to CSA by FDTD and MoM in semi-infinite space.

FDTD 解析においては簡略化のためモーメント法により求めた受信レベルが最大となる受信アンテナ高に設定した。垂直偏波における CSA 解析結果を図 4 に示す。縦軸は基準値との偏差で、基準値は 30MHz から 70MHz においては VCCI 規約・規定類<sup>(3)</sup>付属文書 II の VHAP の VCCI 基準値を使用し、80MHz から 100MHz においては付属文書 I の NSA 基準値より半波長ダイポールアンテナのアンテナファクタ解析値を用いて算出した値を使用した。

図 4 より、サブセル法およびモーメント法の基準値との偏差は共に 0.6dB 以内となり、FDTD 法においてもモーメント法と同程度の精度で CSA 解析が可能であることがわかる。そこで、本論文では、モーメント法による自由空間 CSA 解析値に一致するようにダイポールアンテナの等価エレメント径を決定し、このエレメント径を用いたサブセル法により CSA 解析を行なう。

〈3・2〉電波吸収体の等価変換モデル 解析の対象とした電波無響室は、導体シールド上に電波吸収体としてフェライトタイルを全壁面に設置し、さらに、高周波帯の吸収特性を向上させるために 1 次反射面のフェライトタイル上にフェライト系ピラミッド電波吸収体を設置した構造となっている<sup>(13)</sup>。図 5 に電波吸収体の反射係数の測定値を示す。なお、測定には中型同軸管 (断面 0.3m × 0.3m) を使用した。図 5 より、100MHz 以下の周波数帯では、フェライ

ト系ピラミッドによる影響はほとんど見られず、フェライトタイルによる影響が支配的となることがわかる。

よって、100MHz 以下ではフェライトタイルのみモデル化すればよい。しかし、前述のように電波無響室の解析に用いるセルサイズは 40mm 程度が限界で、フェライトタイルの厚さ 6.3mm にセルを設定することは困難である。そこでフェライトタイルの厚さを 40mm とする等価変換を行なった。等価変換の概要を図 6 に示す。フェライトタイル表面の反射係数  $R$  は、平面波の垂直入射を仮定した伝送線路モデルを用いると伝搬定数  $\gamma$ 、電波インピーダンス  $Z_\omega$ 、厚さ  $d$ 、および真空中の電波インピーダンス  $Z_0$  より次式で表される。

$$R = \left| \frac{Z_\omega \tanh \gamma d - Z_0}{Z_\omega \tanh \gamma d + Z_0} \right| \dots \dots \dots (1)$$

(1)式より、フェライトタイル表面の反射係数は、フェライトタイルの伝搬定数と厚さの積および電波インピーダンスで決まる。つまり、6.3mm のフェライトタイルの伝搬定数  $\gamma$ 、電波インピーダンス  $Z_\omega$ 、誘電率  $\epsilon$ 、透磁率  $\mu$ 、厚さ  $d$ 、40mm のフェライトタイルの伝搬定数  $\gamma'$ 、電波インピーダンス  $Z'_\omega$ 、誘電率  $\epsilon'$ 、透磁率  $\mu'$ 、厚さ  $d'$  とすると(2)式が成り立つてよい。

$$\gamma d = \gamma' d', \quad Z_\omega = Z'_\omega \dots \dots \dots (2)$$

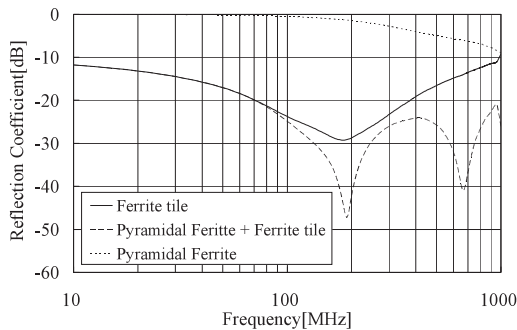


図 5 電波吸収体の反射係数

Fig. 5. Reflection coefficient of absorbers.

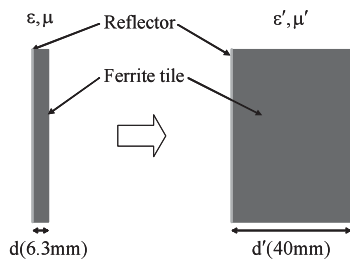


図 6 等価変換の概要

Fig. 6. Outline of equivalent conversion.

ここで、

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon}, \quad Z_\omega = \sqrt{\mu/\epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

(2), (3)式より等価変換後の材料定数が導出される。

$$\epsilon' = \frac{d}{d'}\epsilon, \quad \mu' = \frac{d}{d'}\mu \dots \dots \dots (4)$$

フェライトタイルを 1 セルでモデル化することに対しての妥当性を検証するため、等価変換を用いたフェライトタイルの反射係数を平面波の垂直入射の場合について FDTD 法で解析し、測定値との比較を行なった。施工状態では 0.6m 角のフェライトパネル (1 ユニットは 0.1m 角のフェライトタイル 6×6 枚で構成) を取り付けているが、フェライトパネル間に若干の隙間が存在するためその影響も考慮する必要がある。そこで、実際の施工状態に近い条件での特性評価を行なうため大型同軸管 (断面 1.8m×1.8m) を使用し、フェライトパネルの隙間を 0.3mm として材料定数の測定を行ない解析に使用した。反射係数の測定結果および解析結果を図 7 に示す。反射係数の測定値と解析結果の偏差は最大でも 1dB 程度となり、良く一致している。

次に、近傍界における等価変換モデルの妥当性を検証した。セルサイズを 6.3mm とし、完全導体上の 1 セルにフェライトタイルの材料定数を設定したモデルと、完全導体上の 6 セルに等価変換後の材料定数 (フェライトタイルの材料定数/6) を設定したモデルを作成し、フェライトタイル

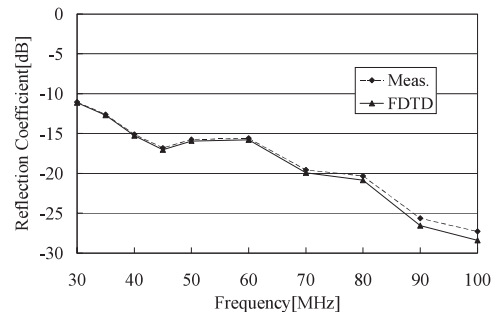


図 7 フェライトタイルの反射係数

Fig. 7. Reflection coefficient of ferrite tiles.

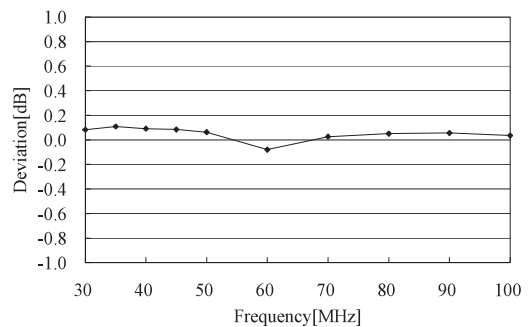


図 8 近傍界の反射特性

Fig. 8. Reflection characteristics in near field.

表面から 300mm (100MHz の  $\lambda/10$ ,  $\lambda$ : 波長) 上に微小ダイポールアンテナを設置して両モデルにおける反射波のレベルを比較した。その結果を図 8 に示す。図の縦軸は両者の偏差を示しており、30MHz から 100MHz で 0.2dB 以内となり近傍界においても良く一致している。これらの結果より、本モデル化が妥当であることがわかった。

#### 4. 解析方法の検証

小型電波無響室の CSA 解析に使用するアンテナおよび電波吸収体のモデル化を検証するため、小型電波無響室の CSA 解析を実施し、測定値との比較を行なった。

〈4・1〉 CSA 測定 図 9 に CSA の測定系を示す。送受信アンテナには VHAP を使用し、30MHz から 70MHz をエレメント長 1.875m の短縮ダイポールアンテナとして、80MHz から 100MHz を半波長ダイポールアンテナとして使用した。送受信アンテナは 3m 離して対向させ、アンテナの高さを 1m に設置した場合と 1.75m (高さ方向の midpoint) に設置した場合の 2 通りでそれぞれ水平、垂直偏波の測定を行なった。なお、ケーブルの影響を低減させるため、送受信アンテナに接続したケーブルのアンテナマストの先端から床面までの間に 0.2m 間隔でフェライトコアを装着した。

〈4・2〉 CSA 解析 解析空間のセルサイズを 40mm、アンテナ部分のセルサイズを 40mm 程度とし、完全導体上に 1 セルで等価変換したフェライトタイルを設置した解析

モデルを用いて、CSA 解析を実施した。解析モデルを図 10 に示す。セルサイズを 40mm に近い値とするため、短縮ダイポールアンテナは 47 分割 (アンテナ部分のセルサイズ 39.89mm) とし、半波長ダイポールアンテナは 90MHz で 41 分割 (同 40.65mm)、100MHz で 37 分割 (同 40.54mm) とし、図 3 に示す等価エレメント径を用いてサブセル法により解析した。

また、比較のためレイトレーシング法<sup>(5)</sup>による解析も併せて実施した。

〈4・3〉 測定結果と解析結果の比較 CSA の測定結果および解析結果を図 11 に示す。これらの図の縦軸は自由空間の CSA との偏差を示している。図 11 に示すように、自由空間の CSA とは最大で 8dB 程度の偏差が生じており、解析により電波吸収体の影響が評価されていることがわかる。レイトレーシング法による解析では、80MHz より低い周波数帯域でディップ、ピークが測定値と著しく異なっているが、FDTD 法による解析では、どの帯域においてもほぼ 1dB 以内、最大でも 2dB 以内となり、特性を良く捉えている。また、アンテナの位置を変化させることにより電波吸収体への入射角が変化するが、入射角の変化についても十分な精度で解析可能であることがわかる。これらの結果より、本手法を用いた FDTD 解析は電波無響室の評価に有効であることがわかる。

80MHz 以上では水平偏波の 1m、1.75m および垂直偏波の 1.75m ではレイトレーシング法の解析結果と FDTD 法の解析結果の偏差は 1dB 以内であるが、垂直偏波の 1m では 2dB から 5dB 程度の偏差が生じている。このことから、アンテナ位置によっては、80MHz から 100MHz においてもレイトレーシング法により解析を行なうことは図 10 の大きさの電波無響室については困難であることがわかる。

水平偏波において 100MHz 付近で測定結果と解析結果の偏差が大きくなっている。この要因として、解析モデルに考慮されていないフェライト系ピラミッドの影響とターンテーブルの影響が考えられる。まず、フェライト系ピラミッドについては、垂直偏波では同じ周波数で偏差が大きくなっていないことからその影響は小さいと思われる。次に、ターンテーブルの影響であるが、このターンテーブルは共振を防ぐためのコンタクトフィンガーが取り付けられており共振の影響はないと思われる。従って、最も可能性が高いのはターンテーブルのフェライトタイルと床面のフェライトタイルの隙間の影響と考えられるが、ラージセルを用いて隙間の影響を解析するためには新たなモデル化が必要となるため、本論文ではその要因を特定するには至っていない。この要因の明確化については今後の研究課題である。

また、垂直偏波についても周波数によっては測定結果と解析結果に偏差が生じている。この要因としてターンテーブルの場合と同様に、側壁に設置されたシールドドアのフェライトタイルと壁面のフェライトタイルの隙間の影響が考えられるが、この要因の明確化についても今後の検討課題である。

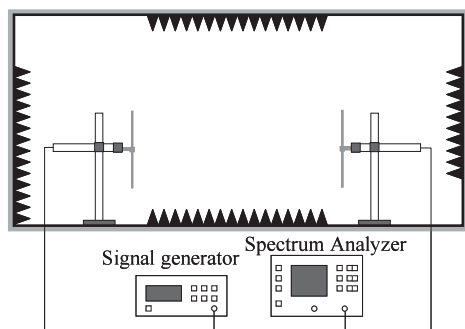


図 9 CSA 測定系

Fig. 9. CSA measurement system.

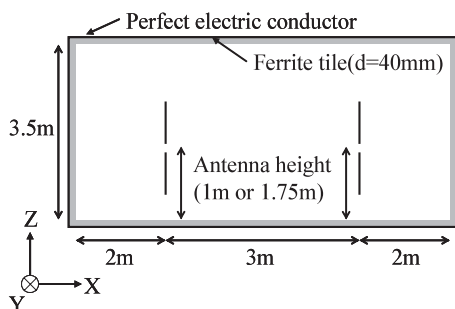


図 10 CSA 解析モデル

Fig. 10. Model for CSA analysis.

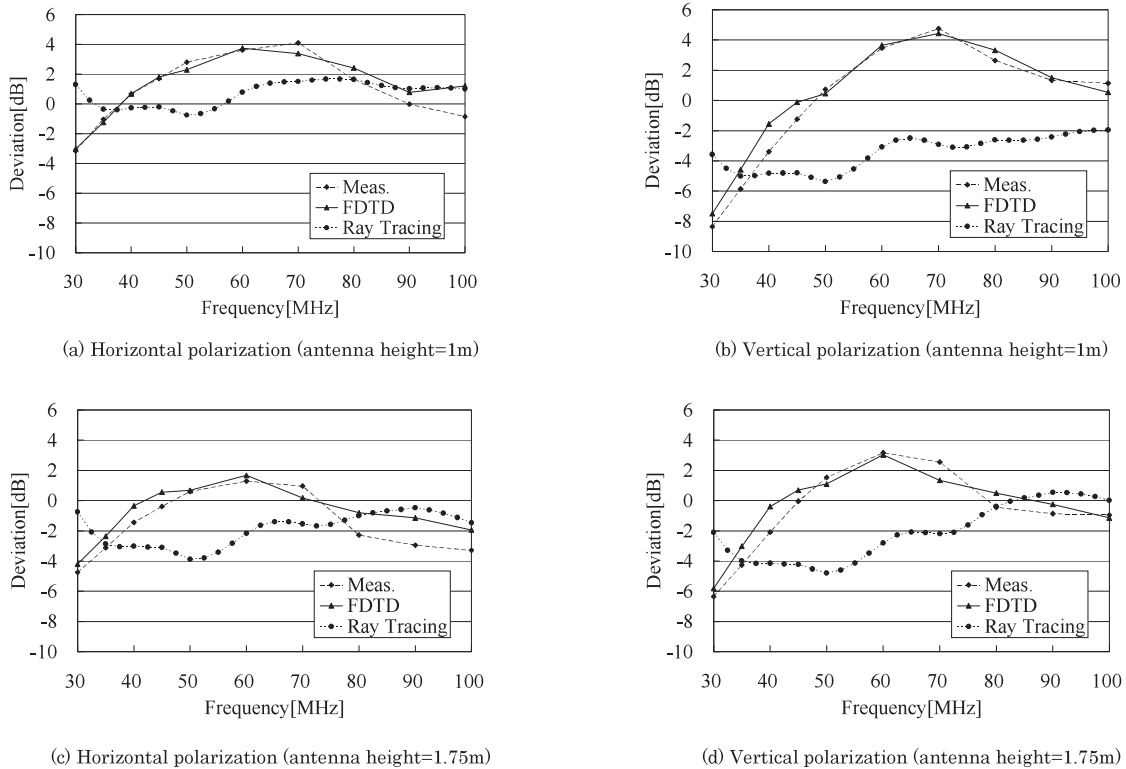


図 11 CSA 解析結果  
Fig. 11. Calculated results of CSA.

## 5. まとめ

PC 程度の計算機で電波無響室のサイト減衰量 (CSA) 解析を可能とするため、ダイポールアンテナおよび電波吸収体をアンテナのエレメント径や電波吸収体の厚さに比べて大きなセル (ラージセル) でモデル化を行なった。アンテナエレメントについては、サブセル法を用い、モーメント法により求めた自由空間の CSA 解析値と一致する等価エレメント径を用いてモデル化を行なった。電波吸収体については、厚さをセルサイズと同じとして、平面波の垂直入射の反射係数が一定となるようにセル内の等価誘電率、等価透磁率を決定する等価変換によりモデル化を行なった。これらのモデル化を用いて小型電波無響室の CSA 解析を実施した結果、解析結果と測定結果との偏差は 2dB 以内となり、本論文で示したダイポールアンテナや電波吸収体のモデル化手法が有効であることがわかった。本論文では小型電波全無響室の解析を行なったが、本手法により小型電波半無響室の解析も可能である。これにより、これまで困難であった 100MHz 以下の周波数帯域における小型電波無響室のダイポールアンテナを用いたサイト減衰量の理論評価を FDTD 法により実現でき、100MHz 以下における電波無響室の設計に有効であると考えられる。

今後の課題としては、ターンテーブルおよびシールドドアのモデル化、本手法の 100MHz 以上の周波数帯域への拡張、および本手法を用いた電波無響室間の相関性の検討が

ある。

(平成 16 年 9 月 21 日受付, 平成 17 年 2 月 21 日再受付)

## 文 献

- (1) CISPR 16: "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus and Part 2: Methods of measurement of disturbance and immunity"
- (2) <http://www.fcc.gov/> (2004)
- (3) <http://www.vcci.or.jp/member/kiyaku/kiyaku.html> (2004-4)
- (4) R.Matsubara, M.Kawabata, Y.Ishida, and N.Kuwabara: "Investigation of Relations between Measurement Distance and Electric Field Strength for Radiated Emission Test Using Artificial Radiation Source", *IEICE Trans. (B)*, Vol.J87-B, No.4, pp.535-543 (2004-4) (in Japanese)  
松原 亮・川畑将人・石田康弘・桑原伸夫:「放射妨害波測定における測定距離と電界強度の相関関係の模擬波源を用いた検討」, 信学論 (B), J87-B, 4, pp.535-543 (2004-4)
- (5) A.Kitani, R.Hamaura, N.Kuwabara, and M.Tokuda: "Evaluation of Anechoic Chamber Characteristics Using Ray-tracing Method and Spherical Dipole Antenna", *IEICE Technical Report*, EMCJ2002-9, pp.13-18 (2002-5) (in Japanese)  
木谷敦人・濱浦龍司・桑原伸夫・徳田正満:「レイトレーシング法と球状ダイポールを用いた電波無響室の電波伝搬特性評価法」, 信学技報, EMCJ2002-9, pp.13-18 (2002-5)
- (6) J.C.Aquino, E.Kimura, K.Watanabe, and M.Tokuda: "Analysis of Semi-anechoic Chamber Characteristics Using Wire-grid Approximation", *IEICE Technical Report*, EMCJ98-19, pp.63-68 (1998-5) (in Japanese)  
アキノ ホアン カルロス・木村永寿・渡辺和也・徳田正満:「ワイヤ

グリッド近似を用いた電波半無響室の特性解析」, 信学技報, EMCJ98-19, pp.63-68 (1998-5)

- (7) Y.Takiguchi, E.Kimura, and M.Tokuda: "NSA Characteristics of Anechoic Chamber Using FDTD Method", 4th European Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2000 Brugge), Vol.1, pp.257-262 (2000-9)
- (8) 宇野 亨: FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, (1998)
- (9) A.Taflove and S.C.Hagness: Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method Second Edition, Artech House Publishers (2000)
- (10) A.Maeda, A.Sugiura, N.Kuwabara, and S.Usuda: "Site Attenuation Measurements Using Shortened Dipole Antennas", *IEICE Trans. (B-II)*, Vol.J79-B-II, No.11, pp.764-770 (1996-11) (in Japanese)  
前田篤哉・杉浦 行・桑原伸夫・臼田昭吾:「短縮ダイポールアンテナによるサイトアッテネーションの測定」, 信学論(B-II), J79-B-II, 11, pp.764-770 (1996-11)
- (11) K.R.Umashankar, A.Taflove, and B.Beker: "Calculation and Experimental Validation of Induced Currents on Coupled Wires in an Arbitrary Shaped Cavity", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol.35, No.11, pp.1248-1257 (1987-11)
- (12) G.J.Burke and A.J.Poggio: Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moments, Part I-III, Lawrence Livermore Laboratory (1981)
- (13) K.Shimada, M.Tosa, Y.Ishida, and M.Tokuda: "Characteristic of Fully Compact Anechoic Chamber Using Pyramidal Ferrite Absorber", *IEICE Technical Report, EMCJ2002-12*, pp.31-36 (2002-5) (in Japanese)  
島田一夫・土佐光男・石田康弘・徳田正満:「フェライト系ピラミッド電波吸収体を用いた全無響小型電波暗室の特性」, 信学技報, EMCJ2002-12, pp.31-36 (2002-5)



川 畑 将 人



(正員) 1995 年北海道大学工学部電気工学科卒業。1997 年同大大学院修士課程修了。同年川崎重工業株式会社入社。2002 年福岡県工業技術センター機械電子研究所入所。アンテナ, 電波無響室, EMC 測定に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。

石 田 康 弘



(非会員) 1986 年九州大学工学部電気工学科卒業。1988 年同大大学院修士課程修了。同年九州松下電器株式会社入社。1992 年福岡県工業技術センター機械電子研究所入所。2001 年九州工業大学大学院博士後期課程修了。電子機器の EMC 関連測定, 妨害波低減法等の研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会, IEEE 各会員。

島 田 一 夫



(正員) 1988 年千葉工業大学工学部電気工学科卒業。同年アクゾカシマ株式会社入社。1992 年リケンエレクトリック株式会社。電波吸収体, 電波無響室に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。

桑 原 伸 夫



(正員) 1975 年静岡大学工学部電子工学科卒業。1977 年同大大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社(現, NTT)茨城電気通信研究所入所。通信システムの雷防護, 光ファイバの信頼性評価, 通信システムの EMI 評価, EMC における光計測技術等に関する研究・開発に従事。現在, 九州工業大学工学部教授。博士(工学)。電子情報通信学会, IEEE 各会員。