

## 論文

## 平板状開口部材の電磁シールド評価

寺井幸雄\* 天早隆志\* 清水康弘\* 白井万寿雄\*

Evaluation of shielding effectiveness regarding flat board with aperture

Yukio TERAJ, Takasi AMAHAYA, Yasuhiro SHIMIZU and Masuo USUI

**Abstract** Equipment to evaluate shielding effectiveness was produced assuming an application to the enclosure of electronic equipment containing various holes. It was composed of an electromagnetic shielding box, containing an opening in order to fix a sample of flat board sandwiched in the box and two electrodeless discharge lamps into the box. This equipment made possible the measurement of shielding effectiveness of approximately 30 dB in a frequency range from 30MHz to 650 MHz by utilizing an automatic system of an anechoic chamber. In addition, assuming a simple enclosure model with an aperture using the FDTD method, a resonant frequency analysis was carried out.

**Keywords** Shielding effectiveness, Enclosure, Aperture, Electrodeless discharge lamp

## 1. はじめに

電子機器の筐体シールドは、外来ノイズの侵入を防ぎ、また内部発生したノイズの外部放出を抑制する働きがある。一般に筐体には、通風孔等の大小の穴が存在する。この開口部の形状、個数等がシールド効果を低減させ、シールド設計が難しいのが現状である。そこで平板状の金属等部材に開口部がある場合の、電磁シールド評価測定が比較的簡単に行える、新たな評価装置を考案して実用性を検討した。また、機器容積による筐体固有の共振や開口部大小による共振等もノイズ放出に影響与える重要な要素であるため、電磁シールドを考えるとときは併せて把握する必要がある。この共振周波数特性は簡単な開口部を持つ筐体モデルを作成し、FDTD法(時間領域差分法)で電磁界シミュレーションを試みた。

## 2. 各種の電磁シールド評価法

現在、電磁シールド評価法の主なものとして、自由空間法、シールドボックス法、同軸伝送線路法、KEC法等がある。これらの方法での測定はいずれも相関が薄く測定値も一致しない。したがって標準測定法は定められていない。本研究の電磁シールド評価装置は、自由空間法の一つで、同様にシールドボックスの一面に試料を装着する窓を持つが、電界発生機能を無電極ランプの放射

スペクトルで行うと共に、ボックス内へ収納している。設計上で考慮したのは次の点である。

- (1) 電波暗室の測定サイト及びソフトウェアがそのまま利用でき、測定時間も短いこと。
- (2) 市販の定尺(30cm×40cm)のシールド用パンチングメタル板や、同程度の大きさの布や紙の金属コーティング類等が、簡単に装着できること。
- (3) 電界発生器は、強電界の発生が見込める市販の無電極ランプに注目して利用する。
- (4) シールドボックスは、発生電界が外に漏れぬよう電磁シールド効果 70 dB 以上を目標に製作する。
- (5) 簡単に持ち運べて、どの電波暗室でも使えること。

3. 電磁シールド評価装置の構造、測定及び結果  
3.1 構造

評価装置の本体にあたるシールドボックスは、図1の寸法で木枠にて骨組みを作り、側面をベニヤ板で囲み、表面シールドは銅箔で内側及び外側の二重張りを行った。試料装着用の窓は前面に置き、窓の縁は電波漏れを防ぐため、袋状の銅の編組線をはんだ付けした。装着後の押さえ板は、檜の集成板を使い蝶ネジで締めている。

ボックス内に無電極ランプを収め、その電源供給は外から行うが、内部電界が電源線を伝搬するのを防ぐため、電波吸収用のフェライトコア 300 個を、線に通してとぐる状に巻いて収納した。さらに直列にラインフィルタ

\* 電子技術グループ

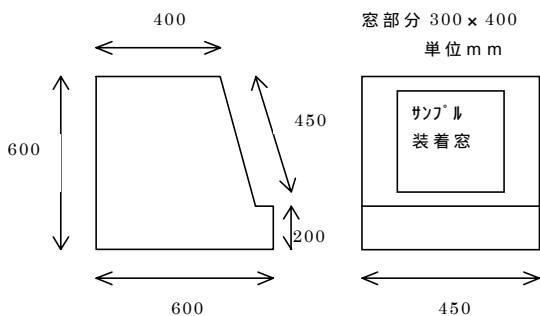


図1 電磁シールドボックスの構造

1個を取り付けた。

電磁的密閉状態の検査は、DC 24V 駆動の無電極ランプ(6W)を内部で乾電池動作させ電波漏れを点検した。その結果、周波数範囲 30MHz ~ 1GHz で、電磁シールド効果 70dB 以上あるシールドボックスが完成できた。

強電界発生は、無電極ランプ(18W)のランプ部分はずして、直径 5cm のループから、そのアンテナ作用で強電界を発生させた。電界スペクトルは ISM(工業、科学、医療用)周波数 13.56MHz の逡倍の高調波である。また 2 個使用して水平及び垂直偏波を発生させている。図 2 が完成した電磁シールド評価装置である。

### 3.2 測定方法

製作した評価装置での試料測定は、金属部材の丸穴、スリット状の長穴の他、布や紙に金属コーティングした物も可能なので、銀メッキ繊維の測定も行った。測定方法は電波暗室に評価装置を置き、放射電界測定ソフトウェアで、従来と同様に 3m 法で行う。測定順序は、

- (1) 試料を付ける前の、窓を開いた状態で測定
- (2) 試料を窓に取り付けて測定
- (3) 差分が測定試料の電磁シールド効果である。全体の測定時間は、約 1 時間である。

### 3.3 測定結果

図 3 は試料が無い窓開放での測定である。図 4 は窓開放の 30MHz ~ 1GHz 帯域の最大電界スペクトラムを示す。一般に電磁シールド測定には放射スペクトラム特性として、最低 30dB 以上は必要であるが、図 4 の結果は電界発生が 650MHz 付近を境にして急激に減衰した。この上の周波数は電界発生が少なく測定に適さない。したがって、この評価装置の測定周波数限界は 650MHz であることが判明した。ランプ単体の発生電界がボックスに収納したため、全周波数帯域で約 10dB の低下が起きた。また 2 個使用は 1 個より約 2dB の増加でしかない。

図 5 が長穴 3mm x 2.0mm を持つパンチングメタルを窓に装着した時の測定結果である。図 4 の値から図 5 の値を差し引くと、図 6 に示す長穴の電磁シールド効果

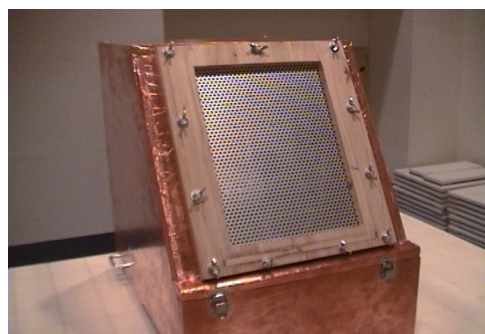


図2 電磁シールド評価装置(丸穴試料装着時)

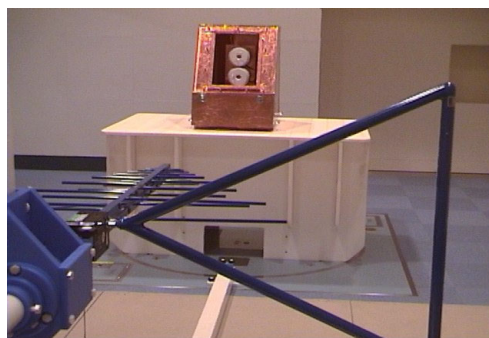


図3 電波暗室内の試料が無い窓開放での測定

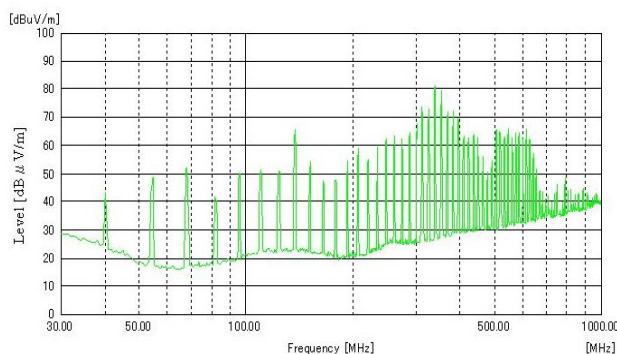


図4 窓開放時無電極ランプの最大電界スペクトラム

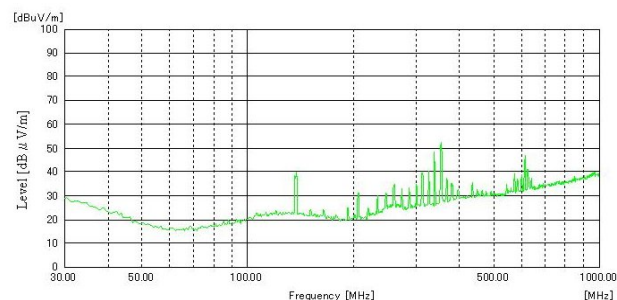


図 5 パンチングメタル(長穴 3 x 20mm)取付時の特性になる。周波数が同じため単純な差分となる。同様の方法で、図 7 の銀メッキ繊維の電磁シールド効果を求めた。図 7 中で、例えば 300MHz をみると 42dB である。データの比較のため、同軸伝送線路法で測ると 43dB、KEC 法では 47dB であった。図 6、7 とも約 30dB の簡易測定結果である。また測定値が離散的にしか示されないのが、この装置を使った評価方法の欠点である。

この装置の他の評価法にない特徴は、近傍での無電極ランプの強電界が印加でき、本来の電磁シールド効果が

評価できること。また電波障害防止の重要なテレビ帯が測定できる。しかもどの電波暗室でも簡単に測定が可能。なため、企業が製品設計時の筐体開口部の評価には、少し改良を加えれば十分に実用性に成りうると考える。

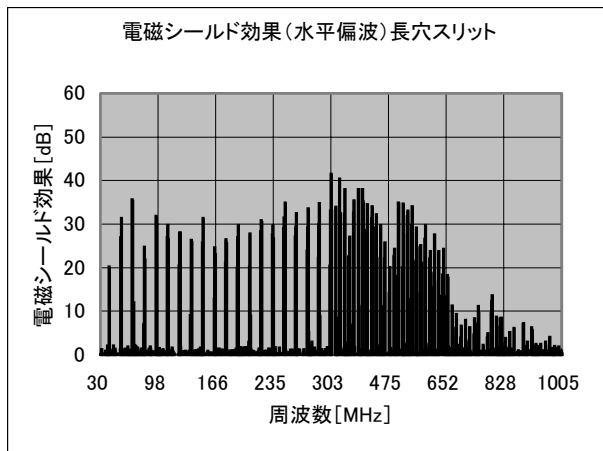


図6 パンチングメタル(長穴)の電磁シールド効果

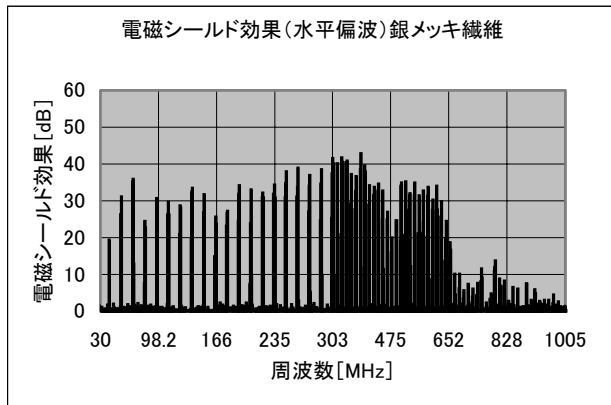


図7 銀メッキ繊維の電磁シールド効果

#### 4. FDTD法による電磁界シミュレーション

##### 4.1 筐体寸法及びスリットによる共振周波数

電子機器内のプリント基板等から発生するノイズは、スリット等の穴からの放出の他に、もう一つ重要な特性として、筐体寸法が持つ固有の共振周波数によるノイズの放出し易さがある。この特性の解析には、電磁界シミュレーションを使用した。筐体寸法の違うモデル2個を次の様に設定した。外形を図8、9に示す。

モデル1：筐体寸法 300×200×300mm  
窓(スリット)寸法 30×200mm

モデル2：筐体寸法 400×500×500mm  
窓(スリット)寸法 (30×400mm, 30×300, 30×200, 30×130, と4種類)

モデル2は、図1の評価装置の構造から、その内容積の大きさに設定した。モデル1は、それより小型にした。各モデルは電子機器の背面部分の開口部を想定して横長のスリットを持たせその開口部の共振解析も試みた。

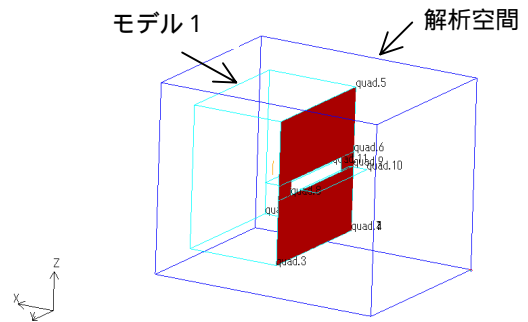


図8 モデル1の外形と解析空間

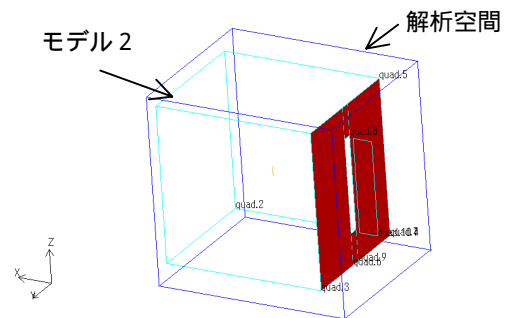


図9 モデル2の外形と解析空間

実際の筐体内プリント基板から発生するノイズ源とは異なるが、図8において筐体内の真中心に微小ダイポールアンテナ(両ポール10mm,中心のギャップ10mm)の励振源を置き、ノイズ源と仮定する。次に筐体を完全導体に設定し、スリット中心部分に水平保存面をおき電界を保存して、その面から観測点を選び周波数特性を求める。電界の時間関数を  $E(t)$  とすると、普通フーリエ変換して広帯域の周波数特性を得たい場合はガウス波を用いる。最大周波数  $f$  (Hz) の周波数特性を得たい場合、次式の中のパラメータを設定する。結果の周波数特性の各値は、振幅の相対値でしかなく大小には意味を持たない。

$$E(t) = A \cdot \text{EXP} \{ - (t - t_0)^2 \}$$

波高値  $A = 1$ , 持続時間  $t_0 = 1/f$ , 分散  $\sigma = (4f)^2$

例えば1GHzに設定するには、 $t_0 = 1(\text{ns})$ ,  $\sigma = 1.6 \times 10^{19}$  とする。2GHzでは、 $t_0 = 0.5(\text{ns})$ ,  $\sigma = 6.4 \times 10^{19}$  となる。図10は解析空間のみで、ガウス波を1GHz及び2GHz設定時のアンテナ固有の周波数特性を示す。ここでの周波数特性は同じ傾向を示している。

モデル1で筐体全面を完全導体で囲み1GHzで励振、はと同様で2GHz励振、は図8の窓30×200有りに1GHzで励振、はと同様で2GHzにて励振、として計算。結果を図11に示した。筐体の影響で設定した周波数範囲1GHz(実線)と2GHz(破線)の違いがはっきりと現れている。このように振幅は相対値となるため、波の出現すなわち共振周波数を観測することになる。

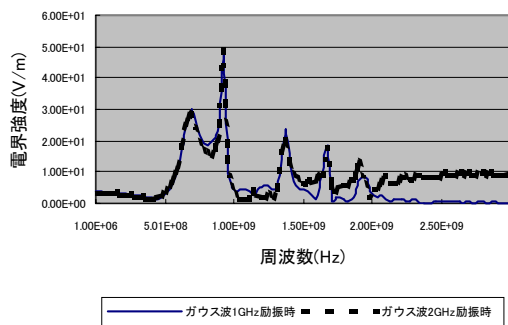


図10 解析空間中の微小ダイポールアンテナの周波数特性

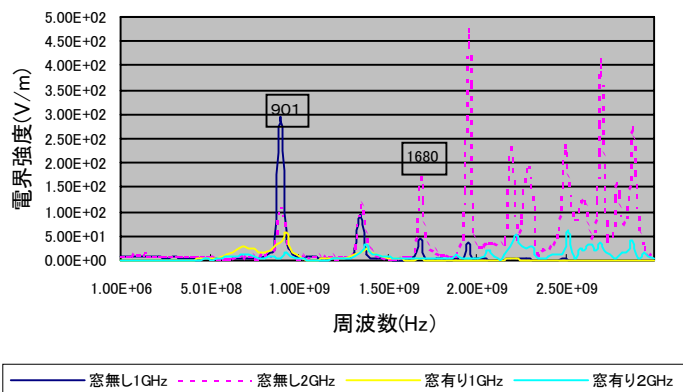


図11 モデル1 (窓 30×200) の周波数特性

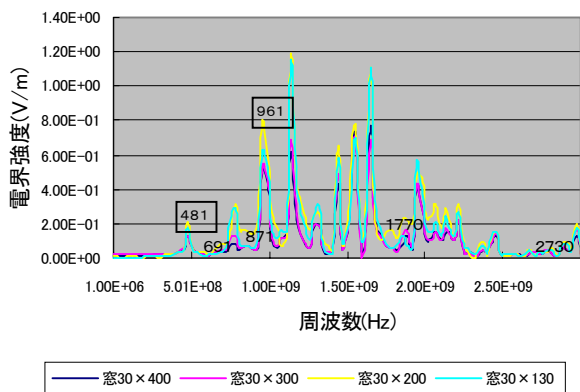


図12 モデル2の窓の大きさ変化時の周波数特性

一般に、電子機器の容積での筐体固有の共振周波数は、直方体空洞共振器の理論より類推して、単純な六面体を考えたとき縦、横、高さをそれぞれD [m] W [m] H [m] とすると、 $f$  [MHz] は次式で表される。

$$f_{k m n} = 150 \sqrt{(k/D)^2 + (m/H)^2 + (n/W)^2}$$

ただし、 $k, m, n = 0, 1, 2, \dots$  となり  $k, m, n$  は2つ以上の整数が同時に0にならない。例えば  $f_{111}$  は、基本モードである。この式の値を使い検討を行う。

モデル1の筐体寸法から図11中の波の中から図10から微小ダイポールアンテナの固有の波を除くと次の

二つの周波数、計算値  $f_{101} = f_{011} = 901\text{MHz}$  が  $901\text{MHz}$  と同値で、 $f_{112} = 1658\text{MHz}$  が  $1680\text{MHz}$  となりほぼ良い一致が見られた。またモデル2の筐体寸法からは図12中の二つの周波数、 $f_{101} = 480\text{MHz}$  が  $481\text{MHz}$  と、 $f_{202} = 960.4\text{MHz}$  が  $961\text{MHz}$  と良い一致を示した。これらが筐体固有の共振周波数と言えるであろう。モデルの大きさを比べると、モデル1の方が小さいため、共振周波数が高いのは、理論と一致する。

次に、窓(スリット)4種類のモデル2で解析を行った。アンテナは筐体の真中心で1GHz励振で行った。外方向に垂直保存面を置き、電界の放射を窓外で観測した。図12が結果でさまざまな周波数が発生した。共振と思われるのは、 $30 \times 400\text{mm}$ の縦長の窓では、 $691\text{MHz}$ 、同  $30 \times 300$  では、 $871\text{MHz}$ 、同  $30 \times 200$  では  $1770\text{MHz}$ 、同  $30 \times 130$  では  $2730\text{MHz}$  が新たに波として出現したが、完全導体の筐体固有の共振が特に強く出るため、図12上では波の振幅が非常に小さい。これらが共振に値する周波数かどうかの確認はまだ得られていない。

### 5. まとめ

- (1) 開口部が規則正しく一面に散在するパンチングメタル板は、丸穴 5mm 及び長穴  $3 \times 20\text{mm}$  の定尺 ( $30\text{cm} \times 40\text{cm}$ )の比較測定を行ったが、丸穴の方がシールド効果が約 10dB 高く、ノイズを放出しにくく放熱に適している板であることが裏付けられた。
- (2) 試料銀メッキ繊維の各評価方法の比較では、例えば 300MHz の測定値は 42dB であるが、同軸伝送線路法は 43dB、KEC 法では 47dB を示した。したがってこの布はテレビ帯 (30 ~ 300MHz) における電波障害防止に十分利用できることが判明した。
- (3) 電磁界シミュレーションで筐体の固有共振を求めることは、予め放出し易い周波数を知ることである。電磁シールド対策の一つとして把握する必要がある。
- (4) 今回開発したのは、どの電波暗室の設備でも簡単にしかも短時間で測定できる新たな方式の電磁シールド評価装置である。これを使うと周波数 30MHz ~ 650MHz の範囲で約 30dB (帯域によっては 40dB) の簡易測定が可能である。

### 参考文献

- 1) 友野関編：電磁波シールドの基礎、(株)シーエム(1985)。
- 2) 日経技術図書発行：電磁波の吸収と遮蔽(1999)。
- 3) (株)CRC リサーチ・ソルズ：MAGNA/TDM 利用ガイド(2000)。  
(原稿受付 平成 14 年 8 月 1 日)