

## 1 実習名

筐体開口部と電磁シールド性能 (「アンテナと電波伝搬」)

## 2 実習の目的

通常、電子機器筐体には放熱などを目的とした開口部が設けられる。しかし、筐体に開口部を設けることは電磁波の漏洩、すなわち電磁シールド性能の劣化につながる。本実習では様々な形状や寸法を有する開口部に対して電磁シールド性能を測定し、両者の関係を把握するとともに、筐体設計のノウハウ習得を目指す。

## 3 主な使用機器類

表 1 に主な使用機器を示す。

表 1 使用機器類

品名	形式	数量	備考
電波暗室	TEN-733	1	テン社製
高周波信号発生器	SMY 02	1	ROHDE&SCHWARZ 製
スペクトラムアナライザ	R3131	1	ADVANTEST 製
ホーンアンテナ	BBHA 9120A	1	SCHWARZBECK 製
高周波増幅器 (1)	KM0102-30R	1	MILMEGA 製
高周波増幅器 (2)	CPA9232	1	SCHAFFNER 製
RF ケーブル			
N/SMA 変換コネクタ			
電波暗箱			自作

## 4 実習手順及び測定結果

### 4-1 測定サンプルの準備

筐体開口部としてスリット形状、丸型の 2 通りを用意する。開口部の寸法、個数として、例えば表 2 のものを準備する。また、一つの面が開口した電波暗箱を準備する。この開口面には上記開口部が設けられた金属板を必要に応じて取り付ける。さらに電波暗箱の内側には電波吸収体を貼り付ける。今回使用した電波暗箱を図 1 に示す。

表2 実習に使用する開口部の形状及び寸法

形状	寸法（直径， 縦×横）mm	個 数
丸穴	2.5	110, 400
	5	1, 9, 18, 27, 54
	7.5	8, 12, 24
	10.7	4, 5, 12
	20	6, 30
	34	1,
	75	1,
	7.5, 10.7	12, 12
方形穴	17×2	1, 20
	34×2	1, 4, 10, 16
	50×2	1
	75×2	1, 5
	34×2	1, 10
	34×10	1, 4
	34×20	1, 10
	34×34	1, 16
	8.5×2	40
	2.5×2.5	110

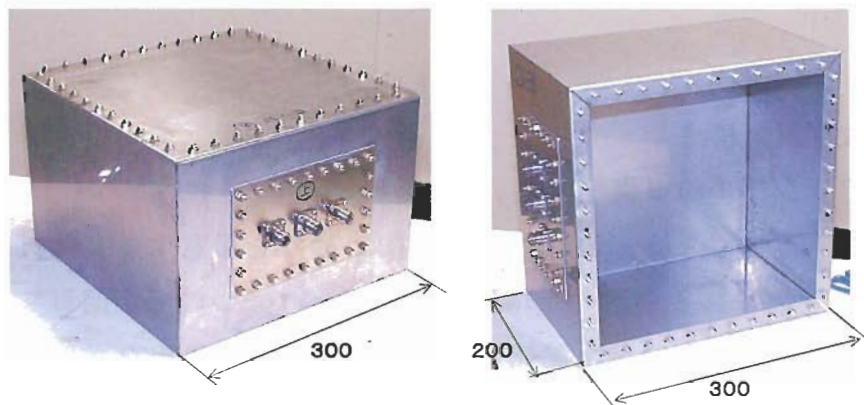


図1 使用した電波暗箱

#### 4-2 基準（オープン）状態での放射レベル測定

(1) 以下の測定は基本的には電波暗室内で実施する。まず、筐体が存在しないオープン状態で送受信アンテナを図2のような配置に設置する。送信アンテナにはホーンアンテナを用いる。一方、受信アンテナには自作のスリーブアンテナを使用する。

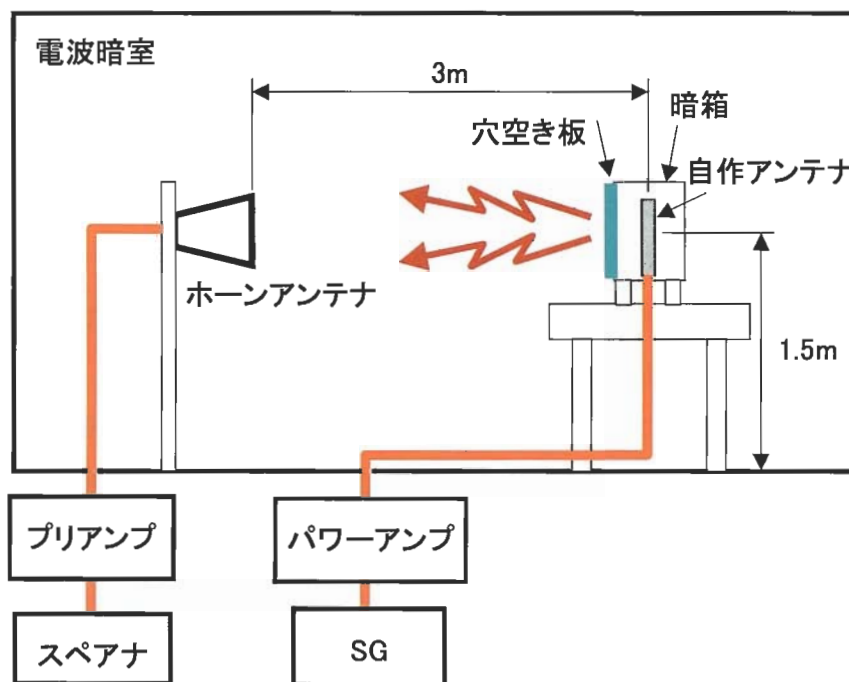


図2 実験配置図

(2) 信号を発生しない状態で、スペクトラムアナライザのノイズフロアレベルを測定する。この時のスペクトラムアナライザの設定は例えば以下の通りである。

- ・ START:1.35GHz    ・ STOP:2GHz    ・ RBW:100MHz
- ・ VBW:100MHz    ・ REF LEVEL:100dB $\mu$ V    ・ dB/div:10dB

(3) 信号発生器によって所定の周波数範囲(たとえば 1.35GHz から 2GHz まで)で周波数掃引して、各周波数における受信レベルをスペクトラムアナライザによって測定する。このとき、送信レベルを調節することによって、オープン状態における受信レベルがノイズフロアよりも十分に大きくなるように(例えば 60dB 以上)する。計測結果を図3に示す。

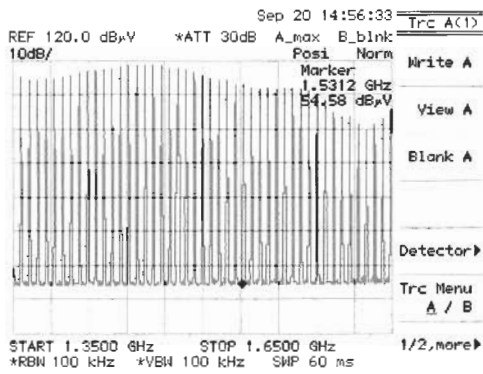


図3 オープン状態での受信レベル

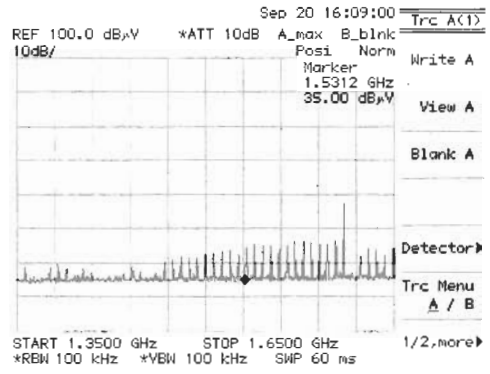


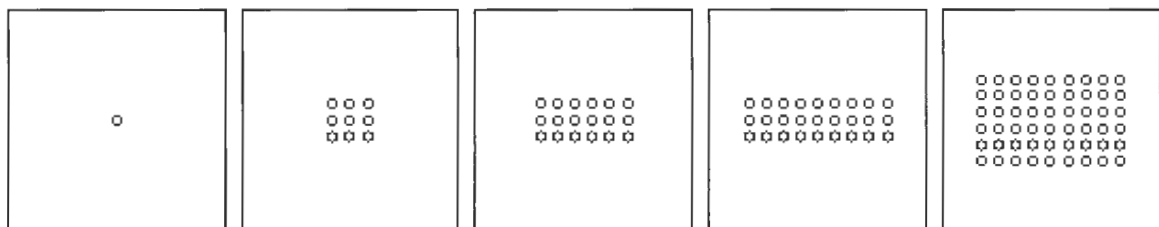
図4 電波暗箱を密閉したときの受信レベル

#### 4-3 開口部を有しない筐体からの放射レベル測定

- (1) 次に、送信アンテナを電波暗箱の中に設置して、送受信アンテナを 4-2 項と同様に配置する。このときは暗箱の開口面を開口部が設けられていない金属板で密閉する。
- (2) 信号発生器によって前述の周波数範囲で周波数を掃引して、スペクトラムアナライザによって受信レベルを測定する。計測結果を図 4 に示す。
- (3) 各周波数における受信レベル（あるいはノイズフロアレベル）とオープン状態での受信レベルとの差を求める。この差がシールド性能に対するダイナミックレンジになる。従って密閉状態の電波暗箱に対する受信レベルができるだけ低くなるように、コネクタの設置方法や使用するケーブルの選択に留意する必要がある。

#### 4-4 丸穴開口部のシールド性能評価

次に、所定の開口部を有する金属板を電波暗箱開口面へ取り付けて、放射レベルを測定する。まず、異なる個数の直径 5mm の丸穴が設けられた図 5 のようなサンプルに対して電磁シールド性能を測定する。測定の手順は 4-3 項と同様であり、開口部サンプルを取り付けたとき（測定結果を図 6 に示す）の受信レベルとオープン状態での受信レベルの差を求める。



a.  $\Phi 5\text{mm} \times 1$  穴    b.  $\Phi 5\text{mm} \times 9$  穴    c.  $\Phi 5\text{mm} \times 18$  穴    d.  $\Phi 5\text{mm} \times 27$  穴    e.  $\Phi 5\text{mm} \times 54$  穴

図5 直径 5mm の丸穴開口部サンプル

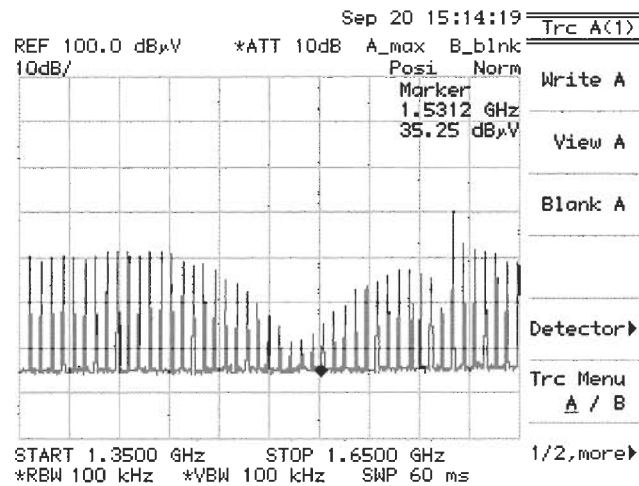


図6 開口部が設けられた金属板に対する受信レベルの測定例

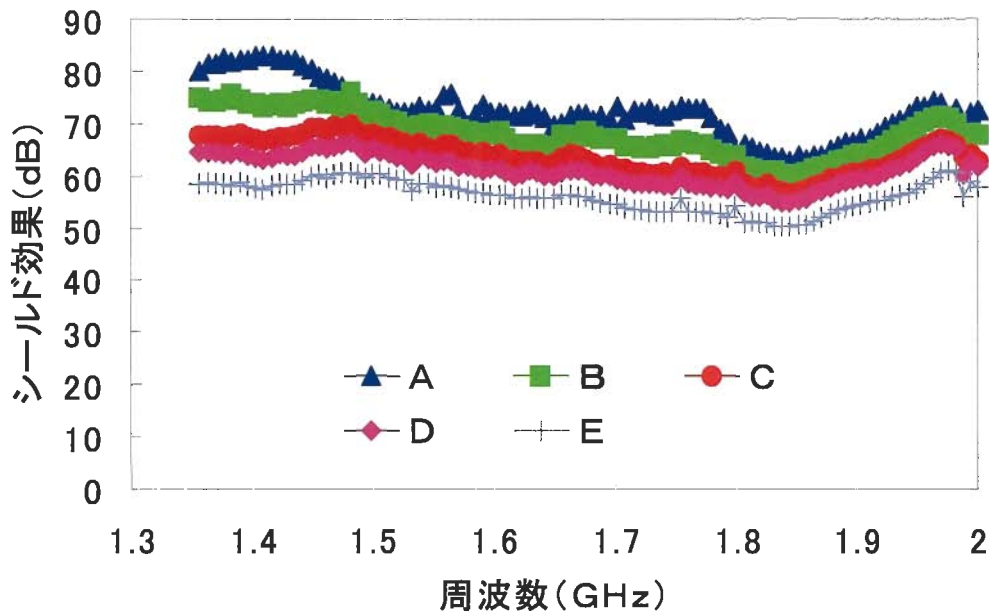


図7 図5の開口部サンプルに対するシールド性能測定結果

このような測定手順によって図5で示したすべての開口部サンプルに対してシールド性能を測定する。その結果を図7のグラフに示す。

以上と同様の測定を図8に示すような異なる直径及び個数を有する開口部サンプルに対して繰り返す。そのあと各々の測定結果について、1.35GHz~2GHzの間でシールド性能を平均化して平均シールド性能を求め、図9のようなグラフにプロットする。

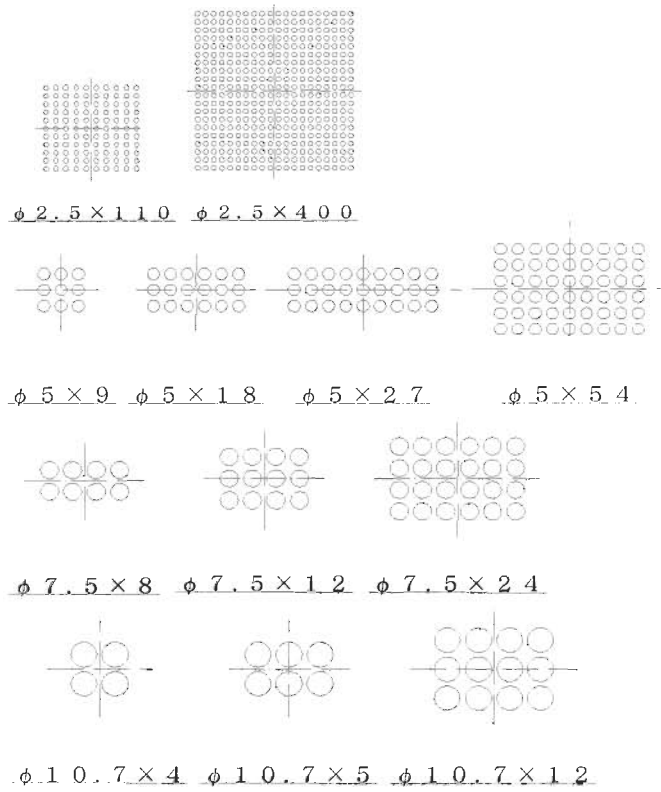


図8 様々な直径及び個数を有する開口部サンプル

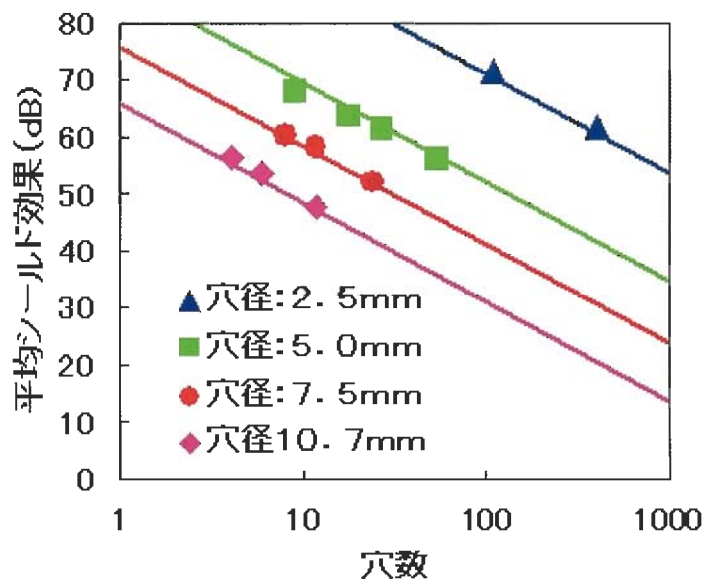


図9 丸穴の個数と平均シールド性能の関係

#### 4-5 方形開口部のシールド性能評価

次に方形（スリット）開口部に対して、シールド性能を評価する。丸穴と違って、開口部に方向性があることから、まず図 10 及び図 11 のように開口部を水平軸及び垂直軸のまわりに回転させてシールド性能を測定する。

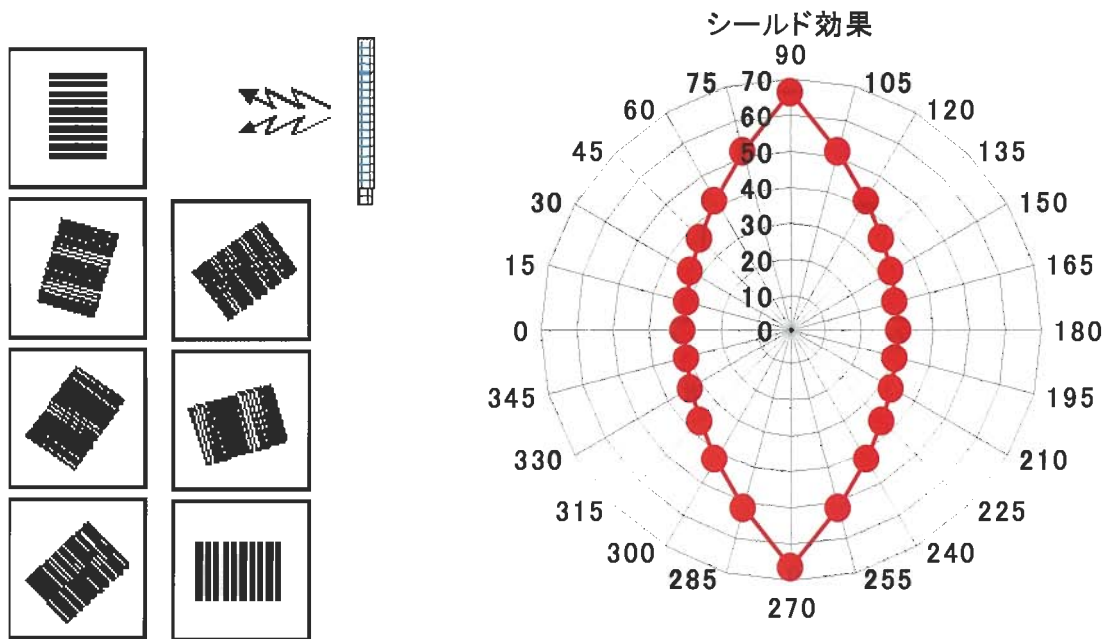


図 10 水平軸のまわりに開口部を回転したときのシールド性能評価

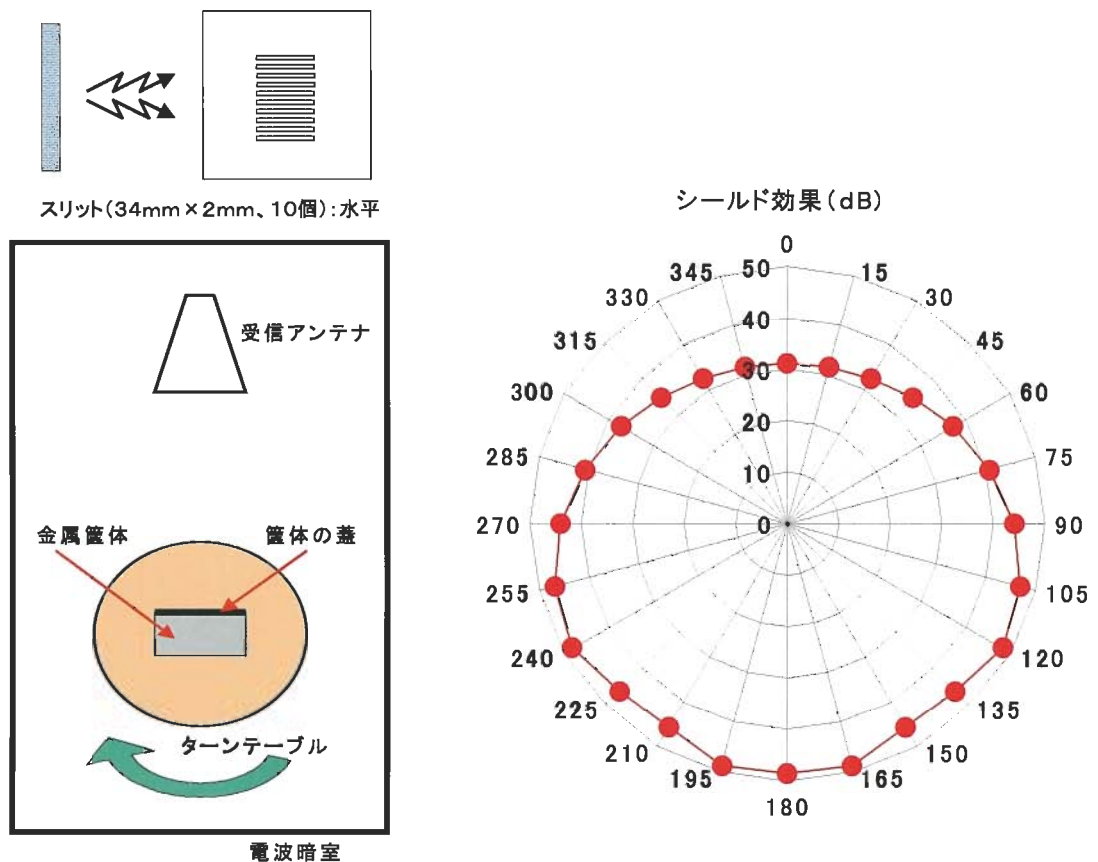


図 11 垂直軸のまわりに開口部を回転したときのシールド性能評価

スリットの幅（縦寸法）が異なる図 12 のサンプルに対して、1.35GHz~2GHz の周波数範囲でシールド性能を測定する。結果を図 13 のグラフに示す。先の周波数範囲でシールド性能を平均化して、図 14 のようにスリットの縦寸法とシールド性能の関係プロットする。

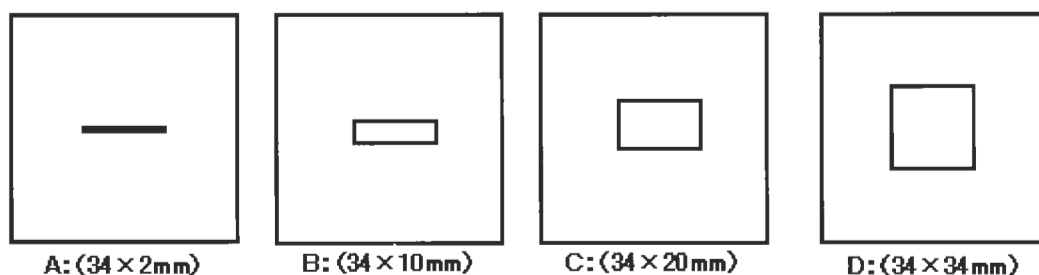


図 12 幅の異なるスリットサンプル

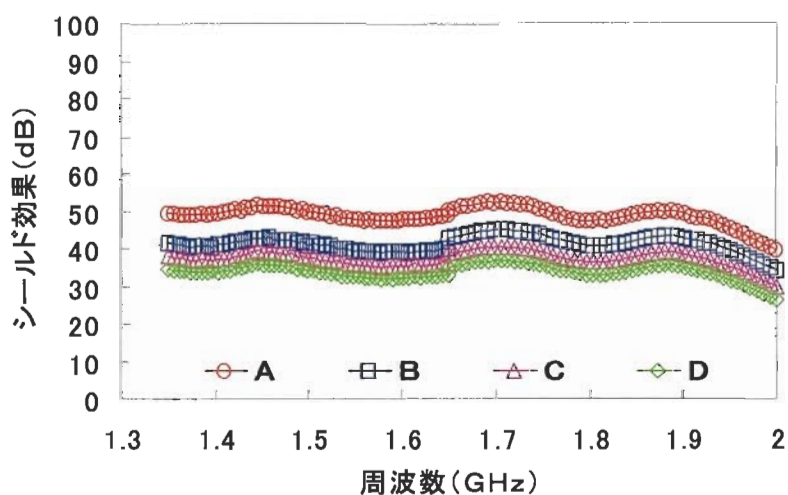


図 13 シールド性能測定結果

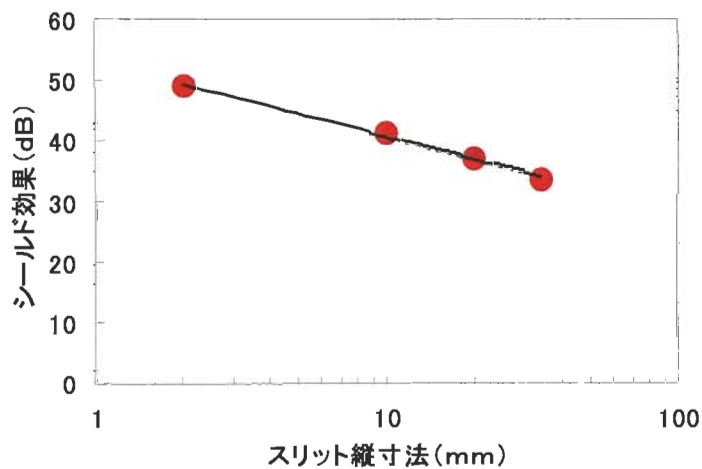


図 14 平均シールド性能 VS スリット縦寸法



次にスリットの長さ（横寸法）を変えた図 15 のサンプルに対して、1.35GHz～2GHz の周波数範囲でシールド性能を測定する。結果を図 16 のグラフに示す。シールド性能を平均化して図 17 のようにスリットの横寸法とシールド性能の関係をプロットする。

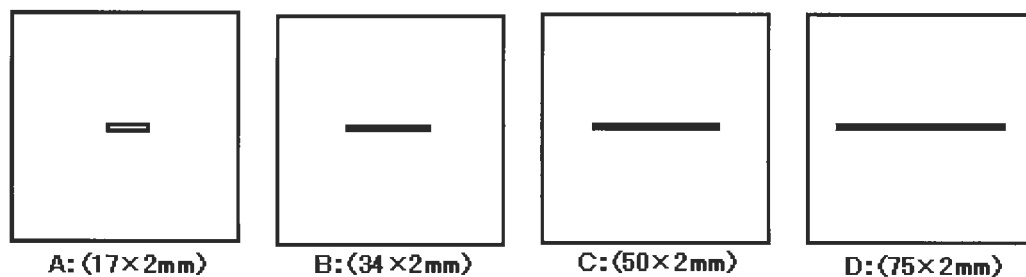


図 15 長さの異なるサンプル

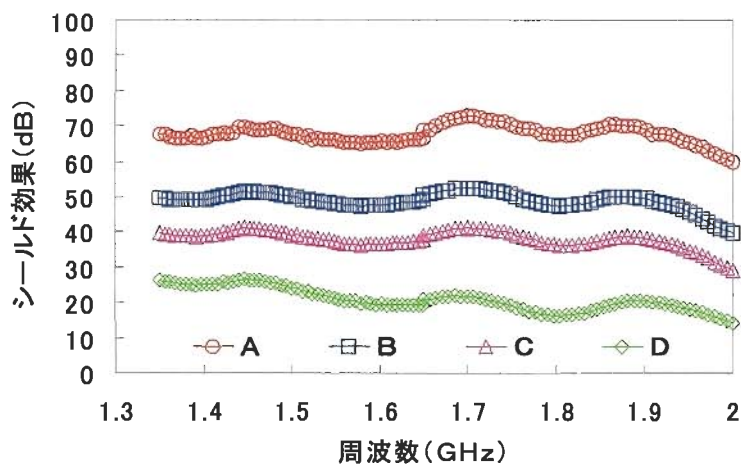


図 16 シールド性能測定結果

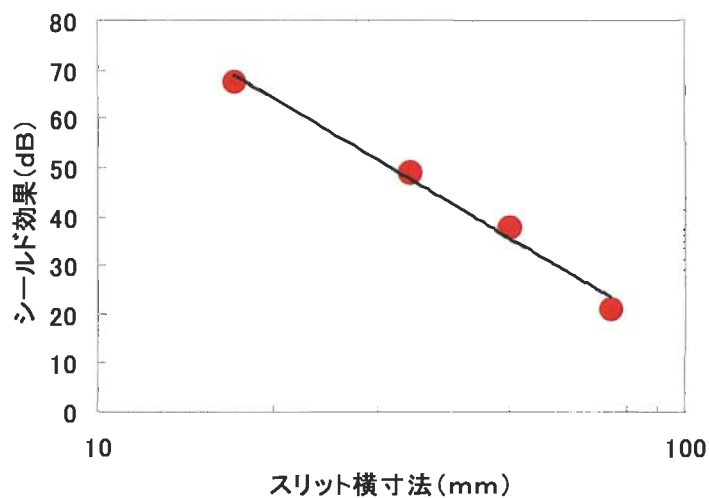


図 17 平均シールド性能 VS スリット横寸法

さらにスリットの個数を変えた図 18 のサンプルに対して、1.35GHz～2GHz の周波数範囲でシールド性能を測定する。結果を図 19 のグラフに示す。シールド性能を平均化して、図 20 のようにスリットの個数とシールド性能の関係をプロットする。

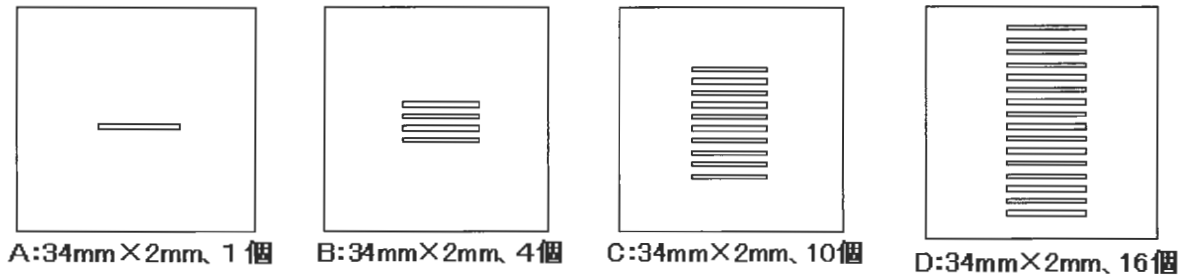


図 18 開口部個数が異なるサンプル

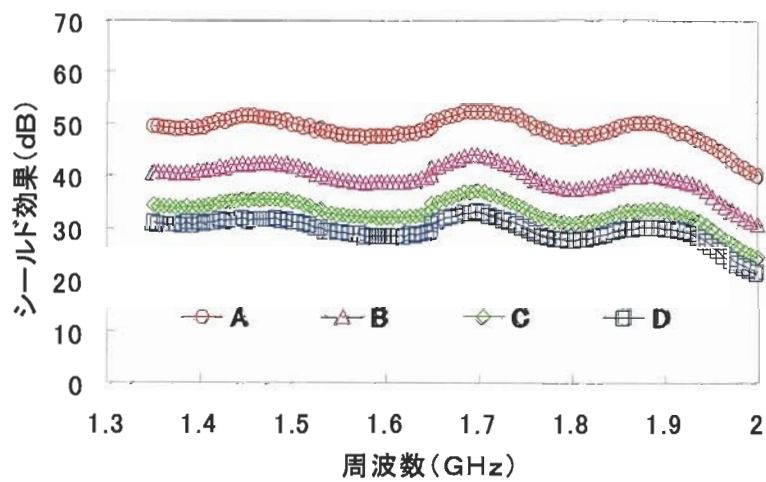


図 19 シールド性能測定結果

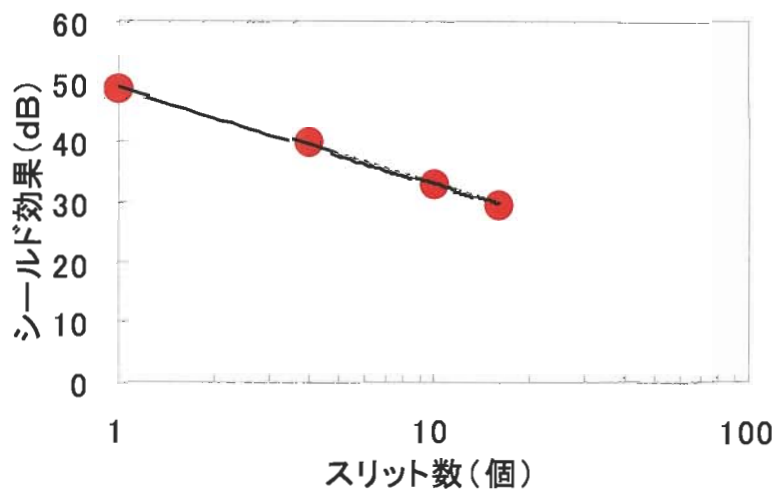


図 20 平均シールド性能 VS スリット個数

## 5 シールド性能の予測式導出

以上の測定結果から、開口部の寸法及び個数と電磁シールド性能 ( $SE$ ) との関係式を導く。ただし、周波数依存性は無視する。

- ・丸穴の場合

$$SE = a \log(N) + b \log(D) + c$$

$N$  : 開口部の個数、 $D$  : 開口部直径、 $a, b, c$  : 定数

- ・方形穴の場合

$$SE = a \log(H) + b \log(W) + c \log(N) + d$$

$H$  : 開口部縦寸法、 $W$  : 開口部横寸法、 $N$  : 開口部個数、 $a, b, c, d$  : 定数

## 6 参考文献

- 1) 名古屋市工業研究所、愛知県産業技術研究所、中部エレクトロニクス振興会による共同研究の成果報告書 (作成中)
- 2) EMC 設計の実際－放射妨害波の制御－、Michel Mardiguian 著、羽鳥光俊監修、小林岳彦訳 (丸善)