

電磁波シールドガスケット及びシート状シールド材の特性評価法に関する研究

上野大介* 戸枝保* 能戸崇行* 匂坂剛* 本多春樹* 宗形隆史*
林兼芳**¹ 林茂吉**¹ 若海久雄**² 橋本修***

Study about characteristic evaluation method of
an electromagnetic wave shielding gasket and sheet shield materials

UENO Daisuke*, TOEDA Tamotsu*, NOTO Takayuki*, SAGISAKA Takeshi*,
HONNDA Haruki*, MUNAKATA Takashi*, HAYASHI Kaneyoshi**¹,
HAYASHI Shigeyoshi**¹, WAKAUMI Hisao**², HASHIMOTO Osamu***

抄録

一般的なガスケット測定法である四辺式測定法と開発した一辺式測定法との相関性を確認した。開発した測定装置は、長さ 200mm ~ 250mm、高さ 10mm、までの電磁波シールドガスケットにおいて 0.5 ~ 6GHz におおむね 50dB 程度の遮蔽率を測定可能である。測定結果からガスケット表面の材質やメッキの違いによるシールド特性の差がわかった。

また、シート状電波シールド材の測定について 600MHz における KEC 法の電界の測定結果とほぼ一致し、4GHz 以上においては青山学院大の評価法と同様の傾向となり、測定精度を確認できた。

キーワード：電波シールド材，電磁波ガスケット，KEC 法，特性評価法，シールド測定

1 はじめに

電磁波の伝播経路を遮ることで電磁環境をコントロールする電磁波シールド技術に対する需要は、近年の EMC 問題の高まりに伴い、ますます増加している¹⁾。EMC 対策品は、基盤またはその周りに実装されるものと、電磁波シールドガスケット（以下ガスケットとする）のように、筐体の隙間などに使用するタイプなどがある。昨今は形状多様性や価格の優位性などにより非導電性素材にシールド能力を付与したガスケットの開発が盛んである一方で、それらを適正に評価することが求められている²⁾。そこでガスケットを圧縮

する量とシールド効果の関係ならびにその特徴を各材料ごとに比較検討した。

2 実験方法

2.1 測定方法

ガスケットを測定する場合、四角い開口部に、それより大きな板を重ね、四辺のすき間に試料を挟む測定方式（以下四辺式とする）が一般的であるが、本研究では測定の簡便性を実現するため、独自の測定法（以下一辺式とする）を提案し、これら二方式のジグを図 1 に示す。なお、一辺式とは鉄板を曲げ加工し図 2 のようなガスケットを挟む部分（以下曲げ部分）がある測定装置であり、測定に使用した機器を表 1 に示す。

測定系は電磁波シールド材測定装置³⁾を使用し、その前面パネルを交換することによりガスケット測定を実現した。アンテナ測定物間の距離は

* 電子情報技術部

**¹ (株)サンケイ技研

**² 銅鉄合金(株)

*** 青山学院大学

500mm、ジグ開口部の大きさは 160mm × 160mm、曲げ部分は幅 10mm、長さ 250mm、四辺式は各辺 200mm とし、ベクトルネットワークアナライザとアンテナを接続した。

表 1 使用機器

品名	メーカー	品番
アンテナ	SCHWARZBEC	BBHA9120E
ケーブル	HUBER+SUHNER	SUCOFLEX
ネットワークアナライザ	Agilent	8753ES
電磁波吸収体	E&Cエンジニアリング	AN-75
シールド布	森本化成	Emi-Shield



図 1 測定装置の概観

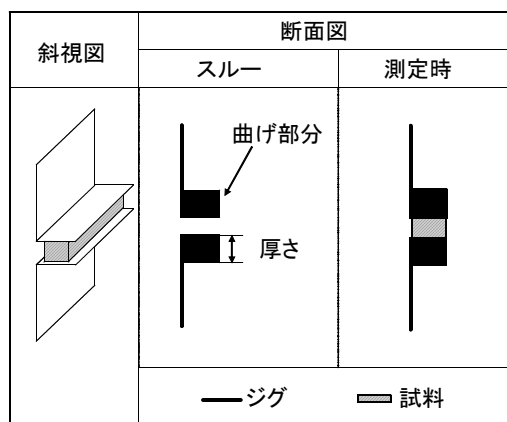


図 2 一辺式の概要

2.2 測定資料

表 2 測定試料

試料	幅	高さ	表面
A	10	10	銅・ニッケル メッキした布
B	10	5.5	
C	5	2	
D	3	1	金メッキした布
E	3	1	
F	10	5	アルミ箔

その表面に導電処理を施した布や薄い金属箔を取り付けたソフトタイプ²⁾を表 2 のとおり各種とりそろえ測定した。また、(株)サンケイ技研で開発したゴム製シールドガスケット (NBR を母材とし

ガスケットには数多くの種類があるが、芯材に非導電性のスポンジ材 (ポリウレタンフォームなど) を使用し、

て、主に扁平磁性粉末を配合したもの) の測定を行った。

3 結果と考察

3.1 ジグ形状の影響

3.1.1 解析による確認

図 1 の曲げ部分の厚さの影響を確認するため、図 3 のとおり FDTD 法 (MAGUNA/TDM) による解析を行った。

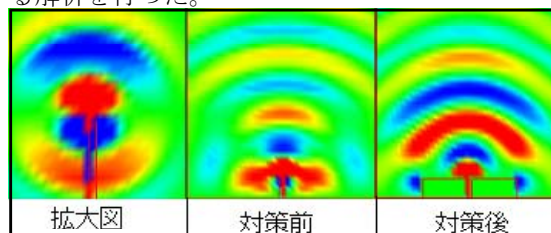


図 3 解析結果

曲げ部分が薄い場合、図 3 の拡大図のように曲げ部分で回り込み電波が発生し、位相反転した電波が先端から放出されている様子がわかった。回り込み電波はジグ自身にぶつかり反射し、図 3 の対策前のように干渉が発生する場合がある。そこで図 3 の対策後のように曲げ部分を厚くしたところ干渉がほぼ無くなった。

3.1.2 測定による確認

図 2 の曲げ部分の厚さを 2mm、10mm、30mm と変え、5mm 幅でスルー測定した結果を図 4 に示す。

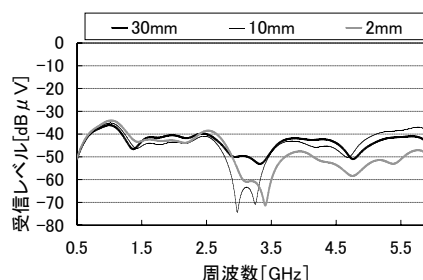


図 4 曲げ部分厚さ比較

曲げ部分の厚さを 30mm にしたところ 2.5GHz 以上での干渉がほぼ収まり、均一なスルー測定が可能となった。3.2 以降の測定は曲げ部分の厚さを 30mm にして測定をするものとする。

3.2 ガasket後ろの空間について

3.2.1 遮断周波数

一辺式では図5のように、ジグ開口部の外側で試料の両端付近に長方形導波管として作用する可能性がある隙間（以下トンネルとする）が生じており、これが電磁波を伝搬した場合、測定時の誤差要因となる⁴⁾。

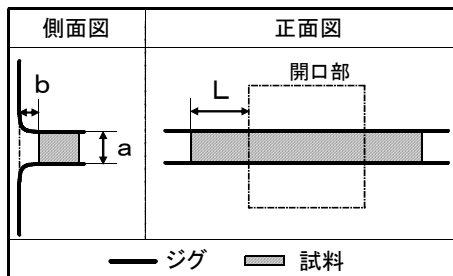


図5 トンネルの概要

トンネルを電磁波が伝搬するか否かは遮断周波数により決まる。ここで、図5のトンネル入り口の各辺をそれぞれ a, b とし、 m, n は同時に0とはならない整数、光速を c とすると、遮断周波数は

$$f_{c, mn} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2} \quad (1)$$

となる。

ここで、 a を長辺とすると最も小さい周波数は $m=1, n=0$ の時であり、遮断周波数は $f_{c, 10} = c/2a$ となる。例えば $a=10\text{mm}$ の場合遮断周波数は 15GHz であり、 a がこれより小さければ更に周波数が高くなるので、本研究の $a \leq 10\text{mm}$ とした実験条件ではガasket後ろの空間は導波管として伝搬せず、減衰することが分かった。

3.2.2 減衰率

本研究は 6GHz 以下の測定であり、3.2.1 よりトンネルへの入射波の周波数は遮断周波数よりかなり低いので減衰率は式(2)のように簡略化できる。

$$\alpha_{mn} \cong \frac{2\pi f_{c, mn}}{c} \quad (2)$$

ここで、 $f_{c, 10} = c/2a$ の条件を代入すると $\alpha_{10} = \pi/a$ となる。図5よりトンネルの長さは L であり、減衰

量は

$$\begin{aligned} SE_{dB} &= 20 \log_{10} e^{\alpha_{10} L} \\ &= 27.3 \frac{L}{a} \end{aligned} \quad (3)$$

となる⁵⁾。

3.2.3 理論値および測定による検証

式(3)にいくつかの値を代入した結果を表3に示す。後述(3.3)のとおり、測定レンジはおおむね 50dB であるから、表3より $L \geq 30\text{mm}$ もしくは $a \leq 5\text{mm}$ の条件ならばでトンネルからの漏れは無視できると言える。

表3 理論値

ガasket長さ [mm]	220	200	180	200
式(3)の L [mm]	30	20	10	20
式(3)の a [mm]	9	5	9	9
およその減衰量 [dB]	90	110	30	60

次に、長さの違うガasketを測定し、トンネルからの漏れを比較した。試料Aの長さを $180\text{mm}, 200\text{mm}, 200\text{mm}$ かつ両端を同じガasketで塞いだものをそれぞれ高さ 9mm まで圧縮したときの受信レベルを図6に示した。 200mm ($L=20\text{mm}$) で両端を塞ぐ効果がみられた。

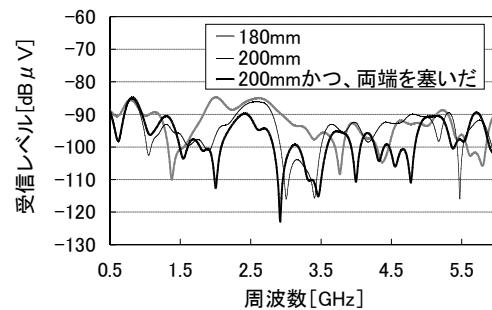


図6 トンネル長さによる漏れ量の比較

一辺式測定装置は最長 250mm ($L=45\text{mm}$) のガasketの測定が可能であることから、試料に十分な長さがあればトンネルからの漏れは無視できるといえる。サンプル収集の都合で 200mm ($L=20\text{mm}$) で両端を同じガasketで塞ぐ方法を採用した。

3.3 一辺式と四辺式の比較

試料を取り外した状態 (スルー 4mm) とジグに試料を取り付けた場合の受信強度の比を遮蔽率、銅箔を使用して塞いだ状態との比を測定レン

ジとした結果を図7に示す。試料は(株)サンケイ技
研のゴム製ガスケット (厚さ 4mm、幅 10mm)
を使用した。

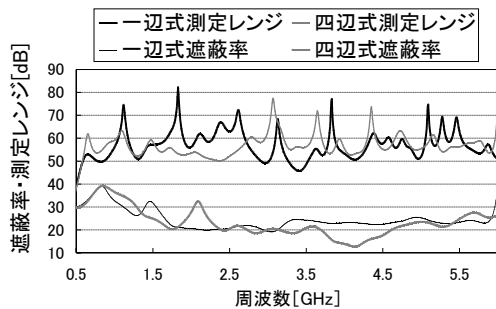


図7 一辺式と四辺式の比較

両者はほぼ同等で、約 50dB の測定レンジがあ
り、遮蔽率がほぼ一致した。3.4 以降の測定は一
辺式でガスケット測定をするものとする。

3.4 ガスケット測定

3.4.1 寸法による差

試料A,C,Dを高さ 50%まで圧縮したとき測定
結果と 1mm のスルー測定結果を図8に示す。

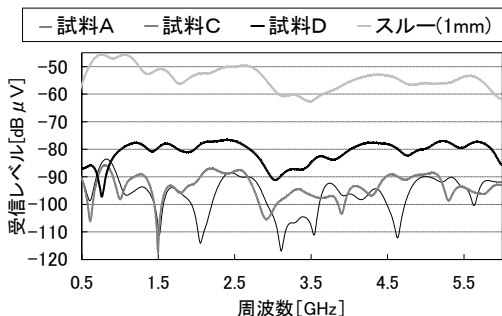


図8 50%圧縮比較

試料Dは他に比べて 10dB 程度漏れが多くなっ
た。高さ 1mm のガスケットは、芯材の量が比較
的少ないので圧縮に対する反発力が足りず、密着
性が足りなかった可能性がある。

3.4.2 メッキ素材による差

表2の試料Dは 0.45 及び 0.5mm, 試料Eは
0.5mm まで圧縮し、測定した結果と 0.5mm のス
ルー測定結果を図9に示す。比較的導電率が高い
と思われる金メッキを施した試料Eは高さ 50%
までの圧縮でも十分な遮蔽効果がみられた。逆に
銅・ニッケルメッキの試料Dは 0.45mm 以下に強
く圧縮した場合のみ十分な遮蔽効果があった。表
面素材の導電率の影響を強く受けた可能性があ

る。

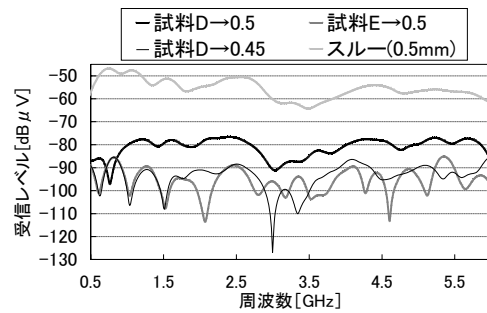


図9 金と銅・ニッケルメッキの違い

3.4.3 表面素材による差

表2の試料Bは 90%, 試料Fは 80 及び 90%ま
で圧縮し、測定した結果と 9mm のスルー測定結
果を示す。アルミ箔の試料Fは高さ 80%まで圧
縮した場合には十分な遮蔽効果がみられるが、高
さ 90%まで圧縮した場合は電波の漏れが確認で
きた。布である試料Bの場合は高さ 90%までの
圧縮でも電波の漏れはみられなかった。アルミ箔
の場合は柔軟性が比較的足りないの、他素材よ
り強い力で密着させる必要があるものと思われ
る。

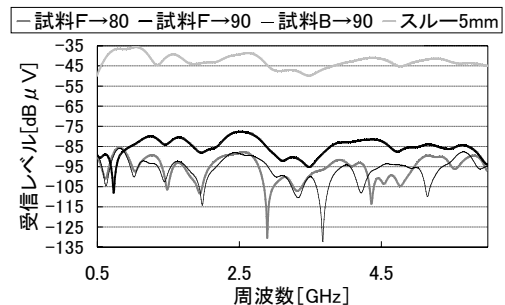


図10 アルミ箔とメッキ素材の違い

4 シート状シールド材の測定

昨年度の研究の課題であった、他機関との測定
比較を青山学院大学橋本研究室と共同で行った。

4.1 測定条件



図11のとおり、
青山学院大の電波暗
室において試料支持
台の試料配置面から、
各々 2m の距離にホ

図11 青山学院大測定概要

ーンアンテナを配置して測定をおこなった。なお、材料支持台とホーンアンテナは青山学院大が独自に開発したものを使用した。青山学院大と、センター所有のシールド材料特性評価装置（以下 KEC 法とする）と既報³⁾、それぞれの測定条件を表 4 に示す。

表 4 測定条件の比較

		測定窓の大きさ (mm)	電磁界	測定装置	周波数 (GHz)
KEC法	電界	80X100	近傍界	スペクトラムアナライザ シグナルジェネレータ	1以下
	磁界	50X50			
青山学院大の手法		240X280	遠方界	ネットワークアナライザ	1~6
センターの手法		200X200	遠方界	ネットワークアナライザ	4~6

4.2 測定試料

銅鉄合金(株)が開発したシールドメッシュ（鉄 8.9% スズメッキ 80 メッシュ）を測定した。

4.3 測定結果

4.1 の条件で測定を行った結果を図 1 2 に示す。

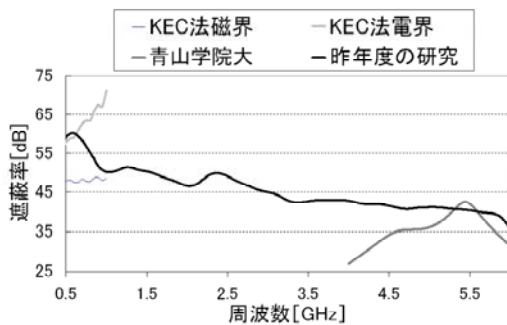


図 1 2 シート状シールド材遮蔽率比較

センターの手法³⁾と KEC 法の電界の測定結果が 600MHz 付近においてほぼ一致し、4GHz 以上においては青山学院大の手法と同様の傾向となった。各々の測定法が違うため単純に比較することは難しい⁶⁾が、広い周波数帯においての精度を確認することができた。

5 まとめ

センターの電波暗室において、電磁波シールドガスケットおよびシート状シールド材の特性評価法について検討したところ、次のようなことが分かった。

(1) 測定精度

ジグ形状による影響の対策を行い、ガスケット

後ろからの漏れは無視できる一辺式測定装置を作成し、一般的な四辺式との相関性も確認できた。

その結果、0.5 ~ 6GHz におおむね 50dB 程度の遮蔽率があり、長さ 200mm ~ 250mm、高さ 10mm、までのガスケットの測定が可能な装置を開発することができた。

(2) 圧縮率と遮蔽効果の確認

厚さ 1mm のガスケットは芯材の量が少ないせいか、十分な密着性を得られておらず、表面素材の導電率の影響を強く受けられると思われる。また、表面がアルミ箔製のガスケットの場合は高さ 80 %まで圧縮すれば十分な遮蔽効果がみられるが 90 %では電波の漏れが確認された。

開発した一辺式測定法によって、ガスケットの素材による圧縮率と遮蔽効果を確認することができた。

(3) シート状シールド材の測定について

センターの手法と KEC 法の電界の測定結果が 600MHz においてほぼ一致し、4GHz 以上においては青山学院大の手法と同様の傾向となった。

参考文献

- 1) 西方敦博：測定法の分類と問題点について、シールド技術とシールド材,ミマツデータシステム,(1996) 13
- 2) 遠藤史健：導電性ガスケットにおけるシールド効果の検討,電磁環境工学情報 EMC,183,7 (2003) 116
- 3) 上野大介, 戸枝保, 能戸崇行, 匂坂剛, 宗形隆史, 林兼芳：電波暗室を利用した高周波シールド特性評価法に関する研究, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 4, (2006) 33
- 4) 内藤喜之：情報伝送入門,昭晃堂,(1976) 204
- 5) 佐藤利三郎：EMC 概論,ミマツデータシステム,(1996) 702
- 6) 森田俊人：建築用シールド材料について,シールド技術とシールド材,ミマツデータシステム,(1996) 145