

DFFC 法における電磁波シールド性能評価にかかる検討

小山 洋太*

坪井 瑞輝*

【要 旨】

本研究では、1～15GHz までの電磁波シールド性能評価に用いられる DFFC 法について、サンプルの厚みに注目し、調査を行った。その結果、DFFC 法においては、サンプル端の導通処理が重要であり、特に、治具の開口の長手方向に沿った導通性が必要であることを明らかにした。

1 はじめに

携帯電話やミリ波レーダーなど、近年の通信技術や計測技術の発展において、電磁波を利用した技術が広く用いられるようになってきている。一方で、不要な電磁波によって機器が誤作動しない、または、不要な電磁波を機器から放出させない、いわゆる EMC (電磁環境両立性) にかかる要求も近年高くなりつつある。このような背景の下、電磁波を制御する為の材料である「電磁波シールド材料」に関しては、現在の産業において非常に重要な役割を果たしており、日々、現れる新しいニーズに対して、さらなる研究開発が進められている。

電磁波シールド性能を評価する手法は様々に開発されているが、その測定周波数範囲やサンプル形状などにより手法を選定することとなる。その中で、近年開発された DFFC 法 (2 焦点型扁平空洞法: Dual-Focus Flat Cavity Method)^{1,2)} は 1～15GHz 帯の周波数に対して、薄膜サンプルの性質を比較的簡易にかつ広帯域に取得できる手法となっている。しかしながら、原著論文においては薄い抵抗被膜での議論のみとなっており、特に、その楕円形の治具の構造に起因した特性がサンプルの厚みによって変化がないかについて、明らかには

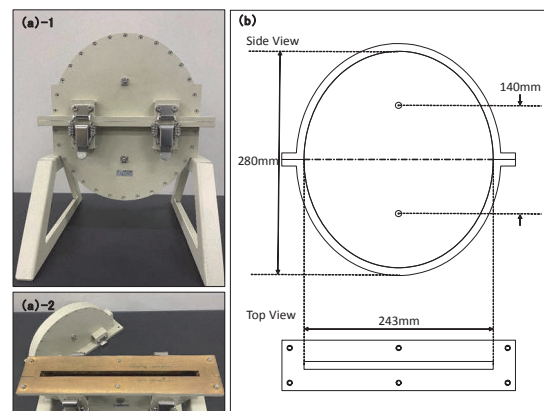


図1 DFFC法の治具

なっていない。

そこで本研究では、DFFC 法におけるサンプル厚みの影響を調査することを目的とした。

2 DFFC 法について

図1の図(a)は DFFC 法の治具の写真であり、図(b)はその概略図面である。DFFC 法は全体で楕円形の治具となっており、その上下が分かれ、間に試料を挟むことでシールド性能を評価する。楕円の焦点位置は信号の入出力ポートとなっており、ベクトルネットワークアナライザへ接続する。楕円形の治具の性質上、1つの焦点から射出された信号は、もう1つの焦点に集合するという性質があり、非常に大きなダイナミックレンジを取ることができる手法となっている。なお、測定に際して

* 応用技術課 副主査

は、多重反射が発生するため、治具内壁面で1回反射した信号が到達する時間にあわせて、ゲーティング処理を行っている。

3 調査方法：測定と測定結果

3.1 治具の間隙の影響

3.1.1 測定サンプル

まず初めに、厚みの影響を考察するべく、図2、及び図3のようなサンプル（各々、サンプルAとサンプルB）を準備した。図2及び図3とも、図(a)はサンプルの写真、図(b)はその概略図面、そして図(c)は治具への設置状況である。

サンプルAは治具の開口(1cm×24.3cm)に合わせた孔を作成した上、図2の図(b)中にある(A)断面のとおり、その断面に銅箔テープを貼った（以降、「導通処理」という。）ものである。他方、サンプルBは単なるスペーサとなっており、治具の間に空隙を設けるだけのものとなっている。

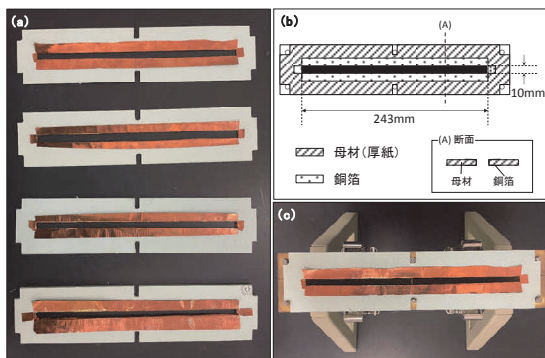


図2 サンプルA

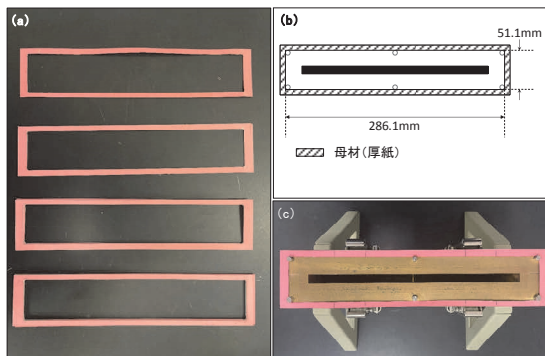


図3 サンプルB

サンプルの母材は厚紙であり、1枚が0.5mm程度となっている。これを1枚、2枚、4枚、8枚重ねて作成し、これらの組み合わせにより、0枚～15枚の厚み（およそ0～7.5mm）で測定を実施した。

3.1.2 測定結果

図4及び図5はサンプルA及びBの測定結果である。横軸は周波数、縦軸は透過量を表すSパラメータのS21成分である。図4より、サンプルAにおいては、枚数が増え、厚さが増していても0枚（サンプルがない状態）と比較して大きな変化はない。他方で、図5よりサンプルBの場合では、枚数を重ねるごとに大きく変化していている様子が見受けられる。

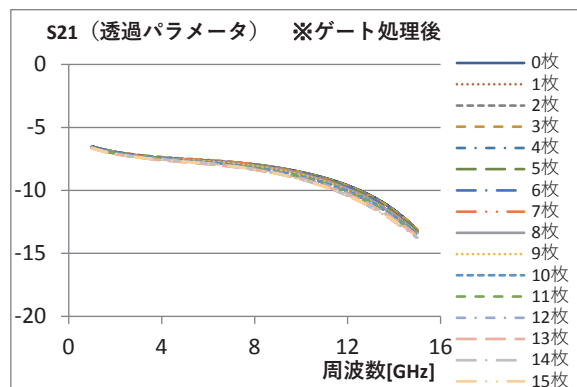


図4 サンプルAの測定結果

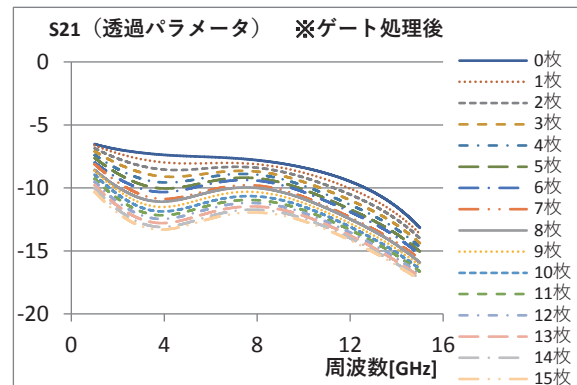


図5 サンプルBの測定結果

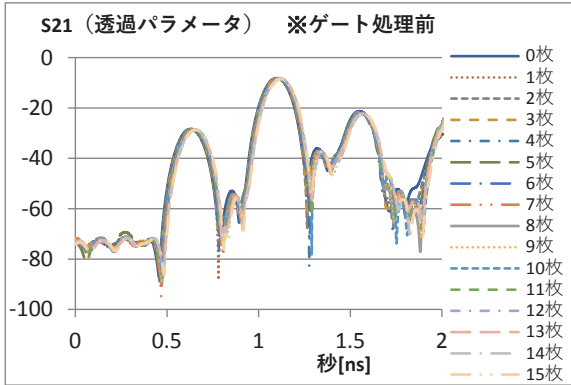


図6 サンプルAの測定結果 (タイムドメイン)

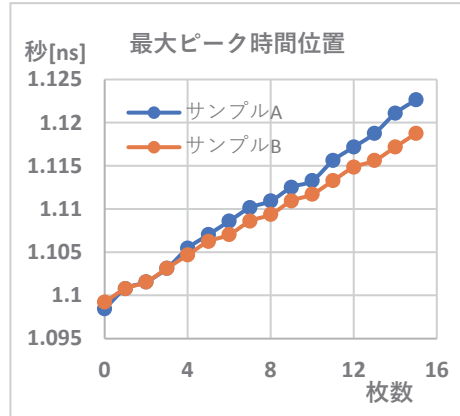


図8 最大ピーク時間位置

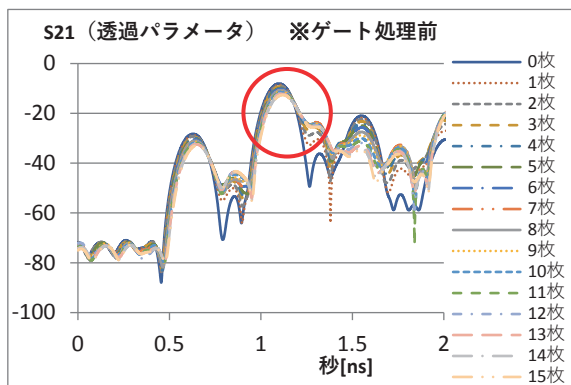


図7 サンプルB の測定結果 (タイムドメイン)

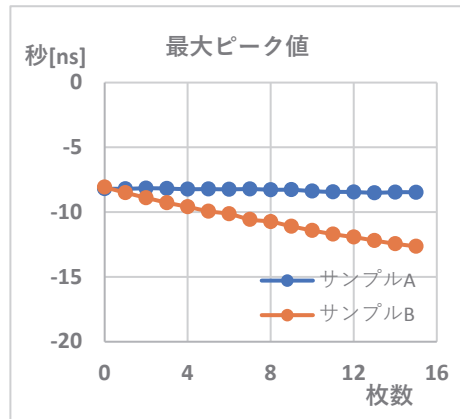


図9 最大ピーク値

この様子を時間軸 (タイムドメイン) であらわしたのが、図6及び図7である。図6はサンプルAについて、図7はサンプルBについての測定結果である。横軸は時間軸である。このタイムドメインにおいて、1ns 当たりのピークが治具内部で1回反射し、集合した信号のピークであり、この部分にゲーティングをかけて、再度、周波数空間に戻した結果が図4及び5であるが、図6及び図7ではゲーティングをかけていない状態で示している。この図より、図6のサンプルAの場合については、ピークに大きな変化は見受けられないものの、図7のサンプルBの場合は、そのピークが鈍っていく様子が見てとれる。このピーク変化について確認を行ったのが、図8～10 である。図8はピークの時間的位置を、図9はピークの最大値を、図10はピークの 3dB 幅を示しており、横軸は枚数で

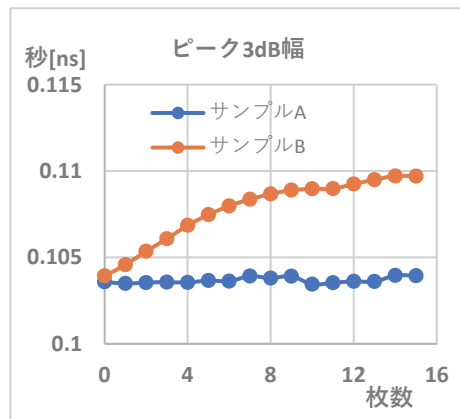


図10 ピーク 3dB幅

ある。図8からサンプル厚みが厚くなるとピークの時間位置がずれていくことが見て取れるが、これはサンプルA及びBで大きな差は見られなかつ

た。他方、図9及び図10に示す通り、ピークの値やその幅については、サンプルAでは厚さ(枚数)に依存しない一方、サンプルBにおいては、厚さが増すとピークが減少し、幅が広がることが見て取れる。以上から、厚みのあるサンプルを測定する際、その端を導通処理することが必要であることが明らかとなった。

3.2 サンプルの導通処理の影響

3.2.1 測定サンプル

次に、サンプル端の導通処理の影響を調査するべく、図11のようなサンプルを準備した。図11の図(a)-1及び図(b)-1は、3.1.1と同様の0.5mmの厚紙を2つ重ねて1mmとしたサンプル(以降、サンプルCとする。)の写真と治具へ設置した際の横からの写真である。一方、図11の図(a)-2及び図(b)-2は、5mmの発泡スチロールで作成したサンプル(以降、サンプルDとする。)の写真と治具へ設置した際の横からの写真である。

各サンプルについて、図11の図(c)に概略図面を示すとおり、治具の開口(1cm×24.3cm)から上下左右に5mmずつ広げた孔(1cm×24.3cm、

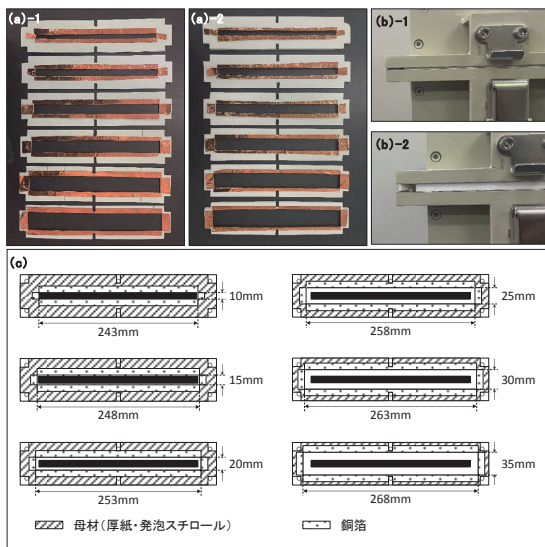


図11 サンプルC及びD

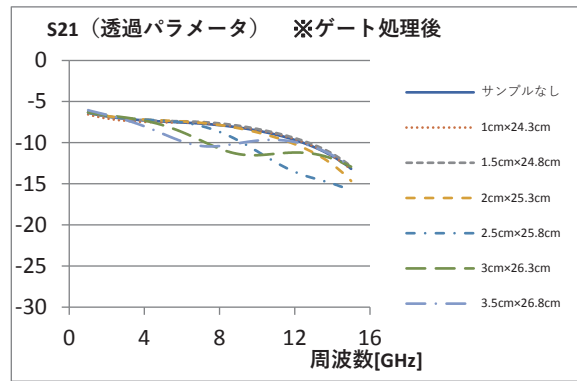


図12 サンプルCの測定結果

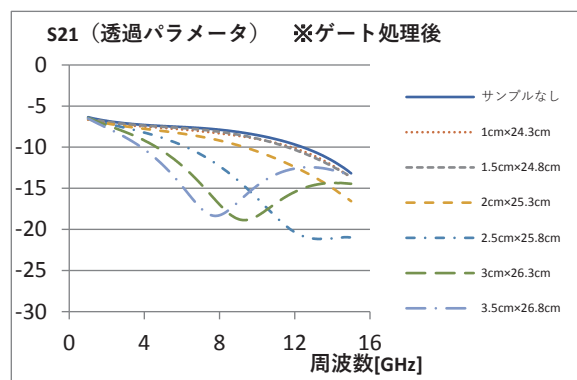


図13 サンプルDの測定結果

1.5cm×24.8cm、2cm×25.3cm、2.5cm×25.8cm、3cm×26.3cm、そして3.5cm×26.8cmの計6種)を持つサンプルを作成し、その孔については、サンプルAと同様、銅箔で導通処理している。

3.2.2 測定結果

図12及び図13はサンプルC及びDの測定結果である。横軸は周波数、縦軸はS21成分である。また、各図には参考として、サンプルがない場合の結果も図示している。図12及び図13ともに、1.5cm×24.8cmの開口を持つサンプルまではサンプルがない場合とほぼ同じであるが、2cm×25.3cmの開口になると、薄手のサンプルである。サンプルCでも高周波側で数dBほどの差が表れてくる。また、開口の大きさが大きくなるにつれ、信号が透過しにくい共振的な振る舞いが測定周波数範囲内に現

表 1 共振的振る舞い位置での結果

		2.5cm× 25.8cm	3cm× 26.3cm	3.5cm× 26.8cm
サンプルC	サンプルなしとの差 [dB]	3.9	3.2	2.7
	周波数 [Hz]	12.34	9.09	7.16
サンプルD	サンプルなしとの差 [dB]	10.8	10.6	10.5
	周波数 [Hz]	12.41	9.16	7.69

れ、開口が大きくなるにつれて低周波側へ移動している。この現象は導波管におけるチョーク構造などに類似するものだと推察される。この共振的振る舞いについてまとめたものが表1である。ここでは、明確なピークを持った 2.5cm×25.8cm、3cm×26.3cm、そして 3.5cm×26.8cm の3種について、共振周波数とそこでのサンプルなしの S21 成分の差を列挙している。ここで示すとおり、薄手のサンプル C であっても、サンプルなしの場合と比較して、3～4dB ほどの差が発生しており、サンプル D においては、10dB ほどの差が認められる。なお、共振的振る舞いが認められた周波数については、サンプルCとサンプルDで大きく異なるところではなかった。

以上から、厚手サンプルの測定では、サンプルの導通処理は重要であることが推察されるが、その際、サンプルの大きさはできる限り治具の開口の大きさに近づける必要があり、開口より大きいサンプルに導通処理を行った場合は、導波管におけるチョーク構造のような状態となり、特定周波数の透過性が非常に悪くなる。このため、見かけ上サンプルのシールド性能が高いような測定結果になってしまう恐れがある。

3. 3 導通処理の軸性

3. 3. 1 測定サンプル

前項の結果より、導通処理によってもたらされる金属面は、極力、測定治具の開口と同じ幅を持

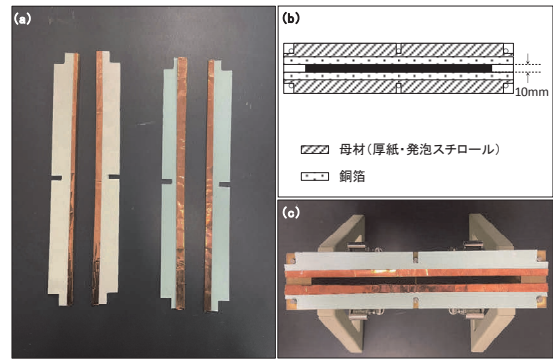


図 14 サンプルEとサンプルF (長手方向)

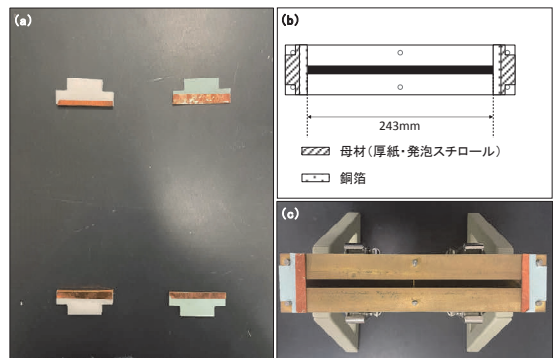


図 15 サンプルEとサンプルF (短手方向)

つ必要があることが明らかとなった。しかしながら、DFFC 法の治具内の電界は特定方向に向いていると想定され、開口の長手方向か短手方向のどちらかの処理が重要であると推察される。

そこで、図 14 及び図 15 のようなサンプル E 及びサンプル F を作成した。

サンプル E 及び F とともに材質は 3. 2. 1 と同じであり、サンプル E が 0.5mm の厚紙を 2 つ重ね 1mm としたものの、サンプル F が 5mm の発泡スチロールである。図 14 及び図 15 の図 (a) がサンプルの写真、図 (b) が概略図面、図 (c) が治具への設置状況である。図 14 の「長手」サンプルは治具開口の長手方向に対して、開口面と位置が合うように導通処理したものであり、短手方向には導通処理がない状態である。逆に、図 15 の「短手」サンプルは治具開口の短手方向に対して、開口面と位置が合うように導通処理したものであり、長手方向に

は導通処理がない状態である。

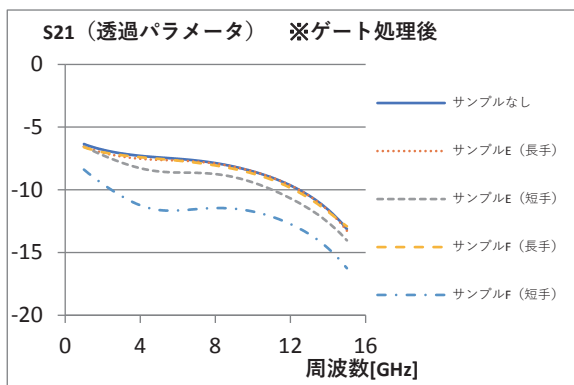


図 16 サンプルE 及びサンプルF の測定結果

3. 3. 2 測定結果

図 16 はサンプル E 及び F の測定結果である。横軸は周波数、縦軸は S21 成分である。また、サンプルがない場合の測定結果も参考として図示している。この図より、図 15 の「長手方向」サンプルにおいては、サンプル E 及びサンプル F のいずれでも、サンプルがない場合と同様の透過状況となっており、最大 0.25dB 程度の差であった。一方で、図 16 の「短手方向」サンプルについては、サンプルなしとの間に、薄手のサンプルであるサンプル E は最大 1dB 程度、厚手のサンプルであるサンプル F では 4dB 強の差がみられた。

このことから、導通処理の重要性は開口の長手方向であり、そちらの処理を極力、開口に合わせてこんな位置で実施できればよいことが明らかとなった。

4 まとめ

本研究では、DFFC 法に着目し、サンプルの厚みの影響について調査を実施した。DFFC 法は治具の楕円構造の特性を生かした手法となっており、サンプル厚みにより焦点位置がずれることへの懸念があったところであるが、その点については、信号の到達時間が若干遅くなる程度の影響であるこ

とが分かった。しかしながら、測定においては開口にあわせた導通処理が重要であることが認められ、また、そのサイズは極力開口に合わせた状態が望ましく、開口からずれると導波管のチョーク構造と類似するような、特定周波数の透過性が著しく悪くなる現象が認められた。一方、DFFC 法の治具内の電界方向に起因して、導通処理が重要な方向があると推察され、検証した結果、治具開口の長手方向に沿った面について導通処理を施すことが重要であり、短手方向については、ほとんど影響をもたらさないことが明らかとなった。また、その際、治具間の距離（厚み）は大きく影響してこないことが判明した。

以上から、DFFC 法にて厚みのあるサンプルを測定する場合、この度のサンプル E やサンプル F の「長手方向」サンプルのような、治具開口の長手方向面に沿った、導通処理のサポーターを導入する方法が考えられる。このサポーターはサンプルよりも厚手のものでもよく、サンプルはこのサポーターの間に、短手方向の隙間からスライドして挿入・測定することで、正確な値を取得することができると推察される。また、3. 2の結果より、導通処理のサポーターは開口から少しだけであれば、オフセットしても、測定に大きな影響を及ぼさない可能性もあり、今回の場合では、全体で 1.5mm（開口より 5mm 程度広い状況）までは、大きな影響をもたらさないと推察されるため、挿入したサンプルの置き代を若干、確保することも可能かと思われる。

(参考文献)

- 1) 西方敦博, 他: 電子情報通信学会論文B, Vol. J91-B No. 1 pp. 88-94 (2008)
- 2) T. Tosaka et al, :2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Honolulu, HI, USA, 2007, pp.1-4.