

正方形の金属シートを配列した電磁シールド材の 透過波を FDTD 法により解析した事例

林 達郎^{*1)}

Case Study of Transmission Properties of Electromagnetic Shield Material Stuck Square Metal Plates Using FDTD Method

HAYASHI Tatsuro^{*1)}

EMC 問題や無線通信システム間の相互干渉などの対策に電磁シールド材が広く利用されており、近年は特定の周波数だけを遮る周波数選択性が求められるケースも増加している。

これまでの研究において、導電性の材料を一定の間隔を空けて周期的に配列したとき、特定の周波数だけを遮る効果が得られることが明らかになっている。しかし、場所によって材質が均一でない電磁シールド材を対象に周波数ごとの透過減衰量を予測することは困難で、設計開発における課題となっていた。

本研究では、FDTD(Finite Difference Time Domain)法を用いて正方形の金属シートを周期的に配列した電磁シールド材の透過波を簡易的に解析し、減衰効果を視覚的に確認するとともに周波数ごとの透過減衰量について実測値と解析計算により求めた値の比較を行い、これらの相関について検討した事例を報告する。

1. 緒言

電磁ノイズに起因する機器の誤動作などの EMC 問題や、過密化する無線通信システム間で発生する相互干渉の問題への対策に電磁シールド材が広く用いられている。

また、近年は求められる機能が高度化する傾向にあり、特定の周波数だけを遮るなど周波数の選択性をもつ電磁シールド材に対する関心や需要も高まっている。

これまでの研究¹⁾において導電性の材料を一定の間隔を空けて周期的に配列したとき、特定の周波数だけを遮る効果が得られることが明らかになっている。しかし、場所によって材質が均一でない構造をもつ電磁シールド材を対象に周波数ごとの透過減衰量を予測することは困難で、設計開発における課題となっていた。

そこで本研究では、FDTD(Finite Difference Time Domain)法を用いて正方形の金属シートを周期的に配列した電磁シールド材の透過波を簡易的に解析し、減衰効果を視覚的に確認するとともに周波数ごとの透過減衰量について実測値と解析計算により求めた値の比較を行い、それらの相関について検討したので報告する。

2. モデルとした電磁シールド材

周波数選択性のある電磁シールド材のモデルとして、一辺が 300mm の正方形の薄い樹脂シート上に、図 1 に示す

ように一辺の長さが L の正方形の金属シート（厚みが 0.08mm の軟質アルミ箔）を間隔 D ($=L$) で周期的に配列した試料を作製した。

なお、試料として表 1 に示すように L が 30mm の金属シートを 25 枚配列した Type A と、 L が 20mm の金属シートを 49 枚配列した Type B の 2 種類を用いた。樹脂シート上で金属シートが配列されていない部分の面積の割合は開口率として表中に示した。

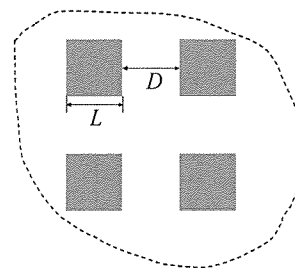


図 1 モデル試料の表面(一部拡大)図

表 1 モデル試料に使用した金属シート

仕様	金属シート $L \times L$ (mm)	金属シート 枚数(枚)	開口率 (%)
Type A	30×30	25	75
Type B	20×20	49	約 78

^{*1)} リビングサイエンス先導的研究開発グループ（当時 基盤技術・ソリューショングループ）

3. 実測及び解析環境

3.1 実測環境

電波が電磁シールド材を透過する際の透過減衰量 T の実測は、図2に示すシールドボックスによる方法²⁾で行った。

透過減衰量 T はネットワークアナライザを用いて、開口部に試料を設置しないときの透過波 T_0 と開口部に試料を設置したときの透過波 T_s を測定し、次式から求めた。

$$T = T_0 - T_s \text{ (dB)}$$

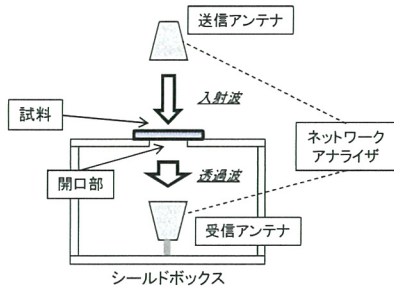


図2 透過減衰量 T の実測環境

3.2 解析環境

電波が電磁シールド材を透過する際の減衰効果を視覚的に確認し、併せて周波数ごとの透過減衰量 T を求めるために FDTD 法による解析計算³⁾を行った。

FDTD 法はマクスウェルの偏微分方程式を差分近似し、時間領域で解く方法であり、電磁界の散乱問題をはじめ光導波路など多くの問題に適用できる計算ツールである。

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E} + \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H}$$

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E}$$

FDTD 法ではシミュレーションに用いる解析空間 (geometry-lattice) やシミュレーションの対象となる構造 (geometry)、波源 (sources) を計算機上に定義して計算を行う。本研究では解析環境にフリーウェアとして提供されている Meep⁴⁾ を利用し、汎用のパーソナルコンピュータ上で3次元の解析計算を行った。

4. 実験結果

4.1 電界分布

Type A の試料を対象に、電波が試料を透過する際の減衰効果を視覚的に確認した。解析計算に際し、問題を単純化

して計算時間の短縮を図るため試料上の特定部位 (1つの金属シート周辺) に限定し、これを図3に示すように解析空間に配置した。解析の条件はセルサイズ Δx , Δy , Δz をいずれも 10mm とし、解析空間の分割セル数 $x \times y \times z$ を $20 \times 9 \times 9$ と設定した。

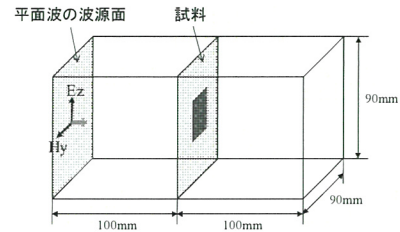


図3 解析空間と試料の配置

また、試料に用いた材料の電気定数については便宜上薄い樹脂シートの比誘電率を $\epsilon \approx 1$ とし、金属シートは導電率が無限大の金属と設定した。なお、境界条件は PML (Perfectly Matched Layer) を用いた。

信号波は解析空間の左端の y - z 面を波源面とし、これより x 方向に向けて近似的な平面波を進行させた。

周波数が 4GHz のとき、解析空間内に試料が無い場合と試料が存在する場合の電界分布を解析計算した結果を図4に示す。

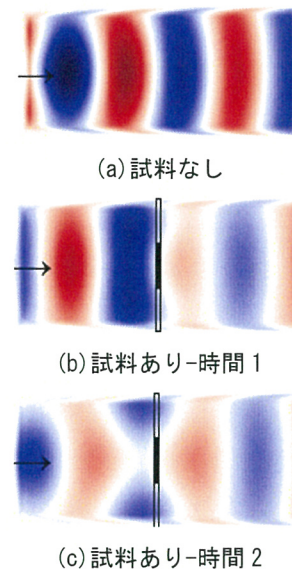


図4 解析空間の電界分布

これより、空間に試料が無い場合と比較して試料が存在する場合には試料より右側、即ち電波が試料を透過した先の空間において電界が乱れて強度が弱まっていることが確認できた。

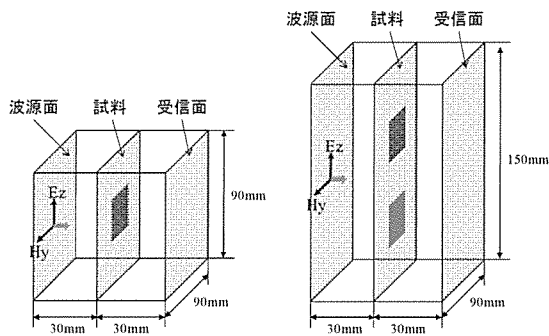
4.2 透過減衰量

Type A, Type B の試料を対象に、電波が電磁シールド材を透過する際の透過減衰量 T を解析計算により求めた。

いずれの試料についても電界分布の計算時と同様に問題を単純化して解析時間の短縮を図るため、試料の特定部位を解析空間に配置したが、ここでは単純化の方法が異なるとき得られる結果の差異を検証するため、解析部位を試料上の1つの金属シート周辺に限定する場合と、2つの金属シート周辺を含む場合の2通りの条件の下で解析計算を行った。

まず Type A の試料については、図 5 のように解析空間内に配置した。解析の条件は(A-1)金属シート1枚のときセルサイズ Δx , Δy , Δz をいずれも 10mm とし、解析空間の分割セル数 $x \times y \times z$ を $6 \times 9 \times 9$ と設定、(A-2)金属シート2枚のときは同じセルサイズで解析空間の分割セル数 $x \times y \times z$ を $6 \times 9 \times 15$ とした。

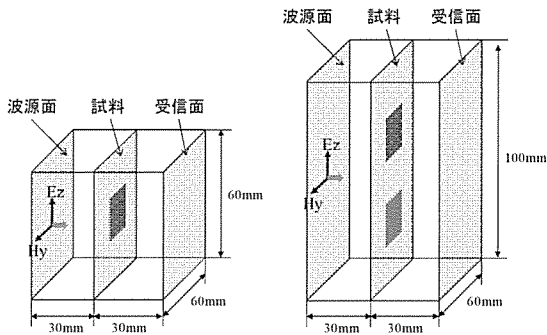
なお PML が解析空間の内側に厚み 10mm で配置されるため、実質的な開口率は(A-1)のときに約 82%で(A-2)のときは約 80%となる。



(A-1) 金属シート1枚 (A-2) 金属シート2枚
図 5 解析空間と試料の配置(Type A)

次に Type B の試料については、図 6 のように解析空間内に配置した。解析の条件は(B-1)金属シート1枚のときセルサイズ Δx , Δy , Δz をいずれも 10mm とし、解析空間の分割セル数 $x \times y \times z$ を $6 \times 6 \times 6$ と設定、(B-2)金属シート2枚のときは同じセルサイズで解析空間の分割セル数 $x \times y \times z$ を $6 \times 6 \times 10$ とした。

なお、先と同様に PML が解析空間の内側に厚み 10mm で配置されるため、実質的な開口率はいずれも 75%となる。



(B-1) 金属シート1枚 (B-2) 金属シート2枚
図 6 解析空間と試料の配置(Type B)

いずれの場合も、試料に用いた材料の電気定数については薄い樹脂シートの比誘電率を近似的に $\epsilon \approx 1$ とし、金属シートは導電率が無限大の金属と設定した。

信号波源は解析空間の左端の y - z 面とし、これより x 方向に向けて近似的な平面波を進行させた。また、信号波の周波数は 1~8GHz における広帯域の伝送特性を得るためガウシアンソースを用いた。

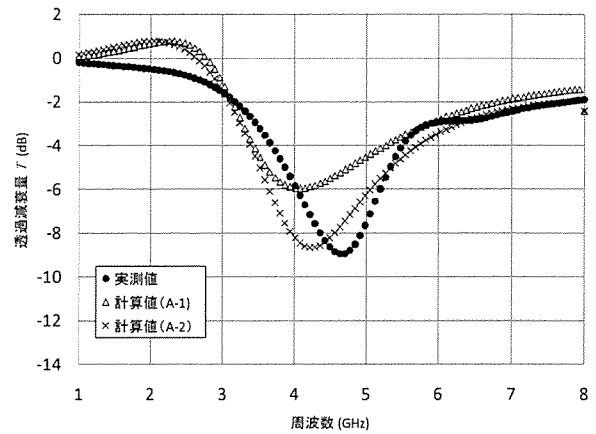


図 7 透過減衰量 T の比較結果(Type A)

Type A の試料を対象に周波数 1~8GHz における透過減衰量 T を実測した値と、条件(A-1)と(A-2)のもとで解析計算により透過減衰量 T を求めた値を図 7 に示す。

透過減衰の効果が顕著となる周波数に着目すると実測値は 4.7GHz 付近で、計算値はこれより少し低い 4~4.2GHz となった。また、このときそれぞれの周波数における透過減衰量は、実測値と条件(A-2)の計算値が約 -9dB である一方、条件(A-1)による計算値は約 -6dB と僅かに異なった。

このことは、解析計算における問題の単純化の方法が異なれば結果に差異が生ずることを示しており、より多くの部位を解析空間に配置するほうが、解析精度の向上に有利であることがわかる。

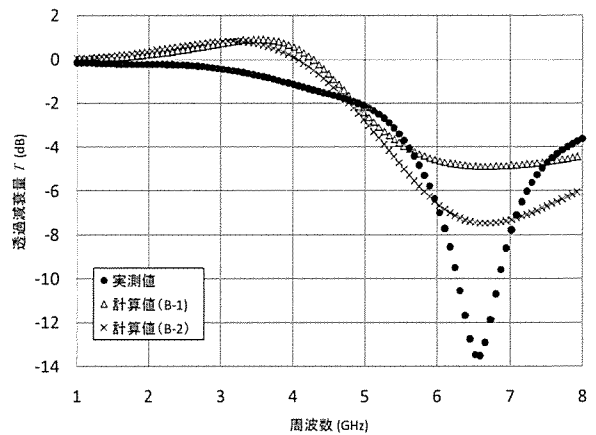


図 8 解析空間と試料の配置(Type B)

次に Type B の試料について周波数 1~8GHz における透過減衰量 T を実測した値と、条件(B-1)と(B-2)のもとで解析計算により透過減衰量 T を求めた値を図 8 に示す。

透過減衰の効果が顕著となる周波数に着目すると実測値は 6.6GHz 付近で、計算値もほぼ同じ周波数帯であった。しかし、このときのそれぞれの周波数における透過減衰量は、実験値が約-14dB であるのに対して、条件(B-1)における計算値が約-5dB、条件(B-2)における計算値が約-7.5dB と異なる結果となった。

この場合も、多くの部位を解析空間に配置するほうが、実測値に近い計算結果が得られたが、さらに解析精度の向上を図るためには、より多くの部位を配置する必要があると考えられる。

なお、Type A、Type B いずれの試料の場合も透過減衰の効果が顕著となる周波数は、正方形の金属シートのサイズにより変化すると考えられるが、本研究で実施した FDTD 法による簡易的な解析計算においてもその特徴は概ね求められており、この方法が同様の構造をもつ電磁シールド材の設計開発に有効であることが確認できた。

5. 結言

FDTD 法を用いて、正方形の金属シートを周期的に配列した電磁シールド材の透過波を解析した結果は次のとおりである。

- (1)モデルとした電磁シールド材を解析空間内に配置し、平面波を進行させたところ、試料が無い場合に比較して試料が存在する場合には試料を透過した先の空間において電界分布が乱れて弱まるということが視覚的に確認できた。
- (2)モデルとした電磁シールド材を解析空間内に配置し、電波が透過する際の透過減衰量を解析計算により求めたところ、透過減衰の効果が顕著となる周波数は実測値と計算値の間で概ね近似することが確認できた。
- (3)ただし、透過減衰量については問題を単純化するために、試料の特定部位を限定する方法の違いにより実測値と計算値に差異が生じることがわかった。
- (4)その際、より多くの部位を解析空間に配置するほうが、解析精度の向上に有利であることがわかった。

今後は、金属シートの基材とした樹脂シートの電気特性を正確に取り扱うなどの検討を進め、さらに解析精度の向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 林達郎, "周期配列の導電材による電磁シールド材の諸特性", 奈良県工業技術センター研究報告, pp.16-20, No.38,2012
- 2) 林 達郎, 高井伸一郎, "大型試料に対応した GHz 帯の電磁シールド材評価環境の構築", 奈良県産業振興総合センター研究報告, pp.1-5, No.39,2013
- 3) FDTD 法による電磁界及びアンテナ解析, 宇野亨, pp.22-33 他, コロナ社, 1998
- 4) Meep, <http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Meep>