

周期配列の導電材による電磁シールド材の諸特性

林 達郎^{*1)}

Characteristics of Electromagnetic Shield Material with Periodically Arranged Conductive Wire and Sheet

HAYASHI Tatsuro^{*1)}

無線通信システム間の相互干渉や情報漏洩問題等のリスクを低減するため、建物やオフィスエリア間で、必要な電波は透過して不要な電波は遮るなどの制限が行える電磁シールド材に期待が寄せられている。

本研究では、GHz 帯において特定の周波数を遮蔽、又は透過する電磁シールド材の可能性を実験的に検討するため導電材を周期配列した試料を作製し、その透過減衰量（シールド効果）などの諸特性について測定を行った。

結果として、線状或いは正方形の導電材を周期配列した試料において固有の周波数で透過減衰の効果が得られること、また異なる形状の周期配列による試料を電氣的に絶縁した状態で多層化すると固有の周波数だけを透過するなど周波数選択型の電磁シールド材の設計が有効に行えることが確認できた。

1. 緒言

高度情報化時代を支える基幹技術として、無線 LAN をはじめとする GHz 帯の電波を利用したデジタル無線通信システムが徐々に普及している。また同時に、複数の無線通信システムが狭いエリアにおいて並行して稼働する状況が発生し、相互干渉による通信速度の低下や情報漏洩等のリスクへの対策が求められるようになってきている。

特定周波数の電波だけを遮蔽又は透過することができれば無線通信の安定運用への対策として有効であることから、最近では電磁シールド材に周波数選択の機能を付与する研究が進められている¹⁾。

従来からの電磁シールド材の多くは、均一な金属シートや導電性の樹脂あるいは薄膜、微細格子などによって構成されており、この場合の透過減衰量は周波数に対して緩やかな変化を示すものがほとんどで、特定の周波数に対応した効果を得ることは困難であった。

本研究では、線状及び正方形の導電材を用いて、これらを樹脂の基材上に周期配列した試料を作製し、その際の透過減衰量（シールド効果）、平面金属板と比較した反射減衰量、等価比誘電率などの諸特性について測定し、検討を行った。

2. 実験方法

2.1 諸特性の測定方法

2.1.1 透過減衰量（シールド効果）

電磁シールド材の透過減衰量の測定には種々の方法²⁾が

提案され、実用に供されているが、対象とする試料の形状、寸法、測定周波数や遠方界評価が必要か否かなどの条件に最適な方法を選択する必要がある。

本研究では、導電材を周期配列した試料が測定対象となることから、電波の透過面積が小さな測定法を用いると試料全体の等価的な特性を得ることができない。そこで、測定時に電波が透過する面積を導電材の配列間隔よりも十分大きく確保できる方法として、図1に示すシールドボックスを利用した測定系を構成した。

試料はシールドボックスの開口窓部に隙間が生じないように取り付け、2基のダブルリジッドガイドホーンアンテナ（送信用、受信用）とネットワークアナライザを用いて透過減衰量を測定した。

測定の対象とした周波数は 2～6GHz で、開口部寸法が 160×160mm の場合における透過減衰量の測定ダイナミックレンジは約 50dB 以上である。

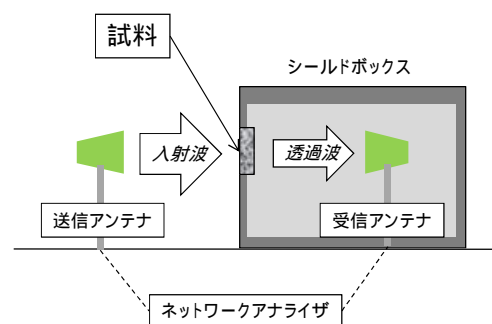


図1 透過減衰量の測定系

*1) 機械・電子・情報技術チーム

2.1.2 反射減衰量と等価比誘電率

電磁シールド材に電波が入射したときに生ずる反射の程度を定量的に知るため、電波の完全反射体とみなされる平面金属板の反射量を基準として、電磁シールド材の場合にどの程度の減衰がみられるか測定を行った。

自由空間による測定系を図2に示す。

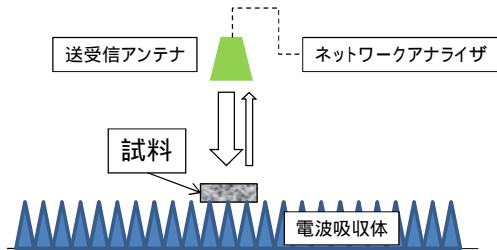


図2 反射減衰量の測定系

試料又は基準となる平面金属板は、電波吸収体によって構成する支持部材に設置し、1基のダブルリジッドガイドホーンアンテナ（送受信共用）とネットワークアナライザを用いて反射減衰量を測定した。

測定の対象とした周波数は2~6GHzで、試料部寸法が300×300mmの場合における反射減衰量の測定ダイナミックレンジは約40dB以上である。

また、同じ測定系を用いて試料全体の等価比誘電率の測定を行った。等価比誘電率の値は試料の背面に一定の距離をおいて平面金属板を配置した際に得られる透過減衰量と位相差の測定値から計算により求めた。

対象とした周波数は、測定誤差の影響を考慮して3~6GHzである。

2.2 試料の作製

2.2.1 線状の導電材を周期配列

線状の導電材を周期配列したとき、線の太さや配列間隔の違いが試料全体の諸特性に与える影響を検討するため、直径が0.2mmと0.5mmのポリウレタン被覆銅ワイヤーを用いて、これらをそれぞれ図3に示すような構造で等間隔10, 20, 30, 40mmに配列した試料を計8種類作製した。

なお、銅ワイヤーを等間隔に保持する基材には塩ビシート(厚み0.5mm)を用い、その上に極めて薄い樹脂製のフィルムテープにより貼り付け固定した。

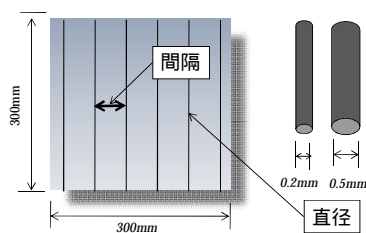


図3 線状の導電材による試料

2.2.2 正方形の導電材を周期配列

正方形の導電材を周期配列した場合に、正方形の一辺の長さの違いが試料全体の諸特性に与える影響について検討するため、厚みが0.08mmの軟質アルミ箔を用いて、これを図4に示すような構造でそれぞれ一辺の長さが10, 20, 30, 40mmの正方形に成形して配列した試料を計4種類作製した。アルミ箔を保持する基材には前述と同一の塩ビシート(厚み0.5mm)を用いた。

なお、簡単のため全ての試料において隣接する導電材と導電材の間隔は正方形の一辺の長さと同じにした。

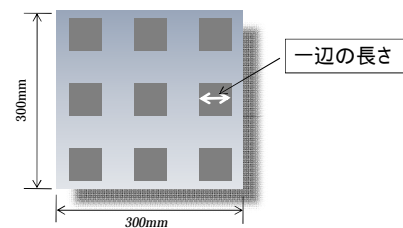


図4 正方形の導電材による試料

2.2.3 異なる形状の試料を多層化

線状の導電材を周期配列した試料と正方形の導電材を周期配列した試料を電氣的に絶縁した状態で多層化したとき、試料全体の透過減衰量がどのような値を示すか検討した。

3. 結果及び考察

3.1 基材の特性

はじめに試料の基材として用いた塩ビシートの単体における諸特性を測定したところ、透過減衰はほぼみられず、また平面金属板と比較しての反射減衰量は-25dB以下であったことから、入射された電波が概ね透過されることが確認できた。

また、比誘電率の測定結果は図5に示すとおりで、実数部は約3、虚数部はほぼ0を示した。

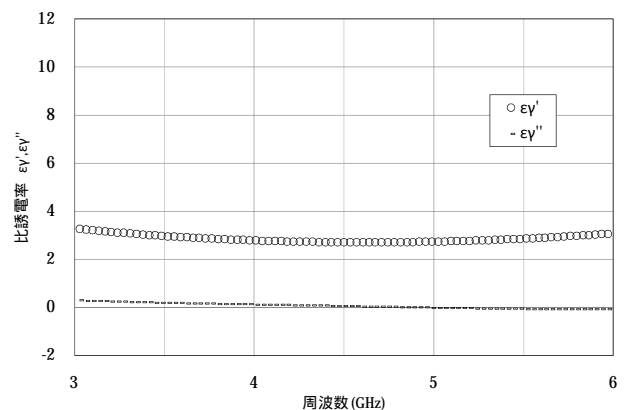
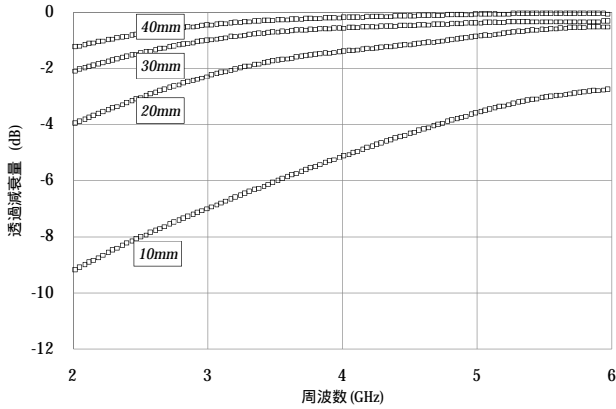


図5 基材の比誘電率

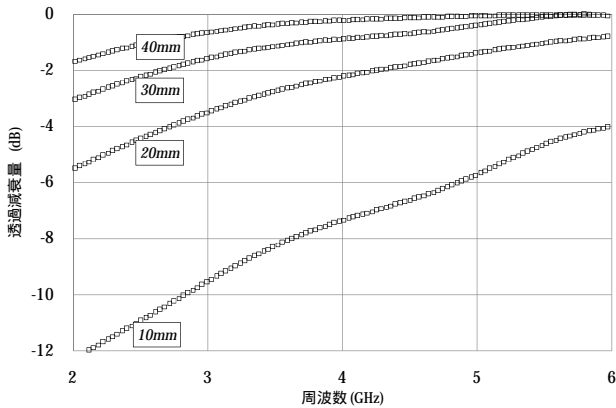
3.2 線状の導電材を周期配列

線状の導電材を周期配列した試料の諸特性は、入射波の電界成分が導電材の配列と平行になるように設置して測定した。

透過減衰量の測定結果を図6に示す。



(a)ワイヤーの直径 0.2mm



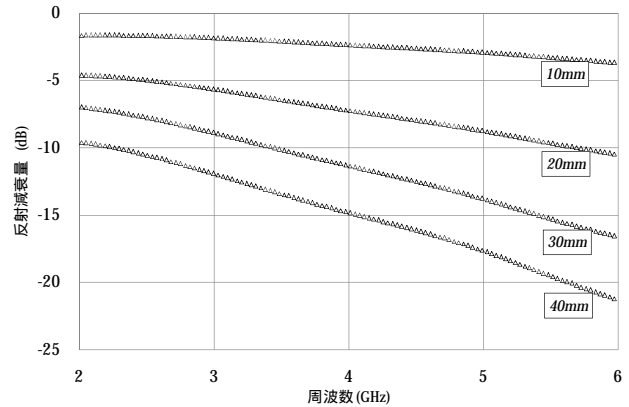
(b)ワイヤーの直径 0.5mm

図6 線状の導電材による試料の透過減衰量

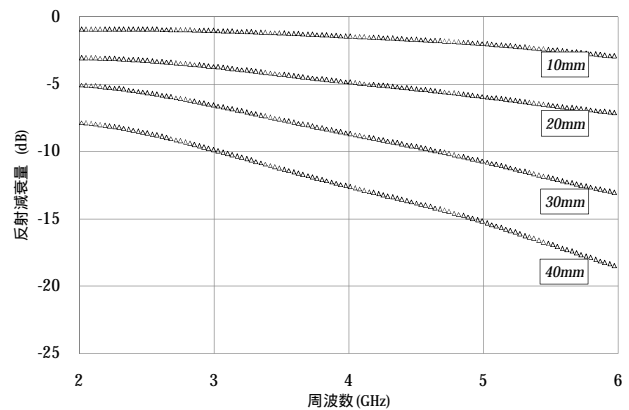
いずれの直径の場合も周波数が低い場合において透過減衰の効果が大きく、例として直径が 0.5mm のワイヤーを 10mm 間隔に配列した試料では 2GHz で約 -12dB の減衰が得られている。このときの波長は約 150mm であることから、波長に比して配列の間隔が約 1/15 と十分小さい場合に透過減衰の効果が得られる一方、周波数が高くなり徐々に波長が短くなると電波の透過量が増えて透過減衰の効果が薄れることがわかる。

また、配列の間隔が同じ場合には、直径が大きい試料のほうが透過減衰の効果が大きい。このことはワイヤーに取り込まれた電波が電流となった際に電気抵抗が小さい、即ち直径（表面積）が大きいほうが有利となった結果と推察される。

次に平面金属板と比較しての反射減衰量の測定結果を図7に示す。測定結果からいずれの直径の場合も低い周波数において電波の反射が強く、周波数が高くなるにつれて減少する様子がみられた。



(a)ワイヤーの直径 0.2mm



(b)ワイヤーの直径 0.5mm

図7 線状の導電材による試料の反射減衰量

さらに直径 0.2mm のワイヤーを使用した試料の等価比誘電率を図8に示す。これより、既に明らかにされている³⁾ように、いずれも実部がマイナス、虚数部はほぼゼロを示すことが確認できた。

なお、等価比誘電率の計算過程において、試料の等価的な厚み d は図9に示すとおり基材の厚みにワイヤーの直径を加えた値を用いた。

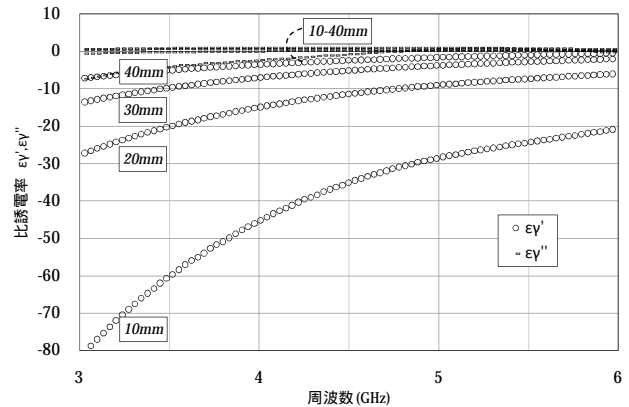


図8 線状の導電材による試料の等価比誘電率 (ワイヤーの直径 0.2mm)

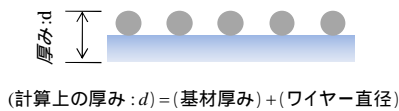


図9 等価比誘電率の計算に用いた試料の厚み

3.3 正方形の導電材を周期配列

正方形の導電材を周期配列した試料の諸特性は、入射波の電界成分が導電材の一边と平行になるように設置して測定した。

透過減衰量の測定結果を図10に示す。

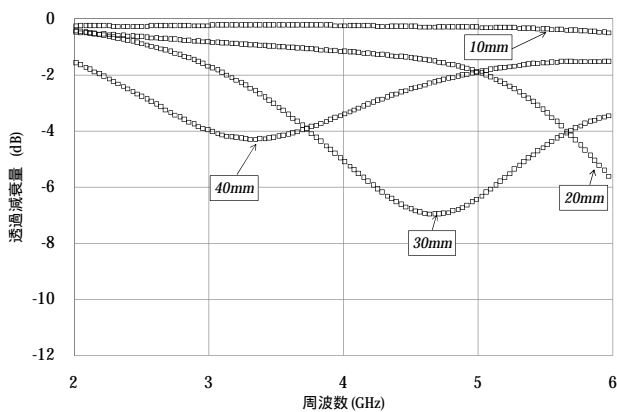


図10 正方形の導電材による試料の透過減衰量

これより一边の長さが10mmの試料を除いて、透過減衰の効果は固有の周波数に現れ、例として一边の長さが30mmの正方形の場合に4.7GHzで約-7dBとなった。

ここで、透過減衰の効果が見れる周波数と導電材の一边の長さの相関について検討すると、例として一边の長さが30mmの正方形の場合、透過減衰の効果が見れる4.7GHzの波長は約64mmであるので、その1/2即ち半波長に近い寸法に正方形の一边が調整されたときに効果的な透過減衰が得られていることがわかる。

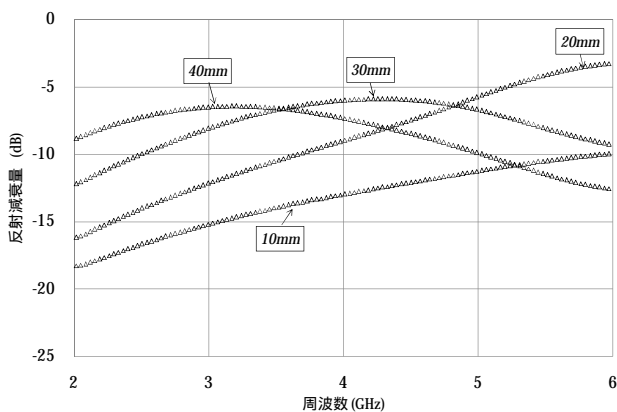


図11 正方形の導電材による試料の反射減衰量

次に、平面金属板と比較しての反射減衰量の測定結果を図11に示す。

これより、いずれの寸法の正方形の場合も透過減衰の効果がみられる周波数付近において電波の反射が強いことがわかった。

次に一边が30mmの正方形による試料の等価比誘電率を図12に示す。これより、透過減衰量がピークとなる周波数付近において実数部が極大値から極小値へ急変し、同時に虚数部が極大値を示す現象がみられて共振型分散⁴⁾の特徴が確認された。

固有の周波数における透過減衰量の効果は、共振の現象によって得られているものと推察される。

なお、等価比誘電率の計算過程において、試料の等価的な厚み d は図13に示すとおり基材の厚みにアルミ箔の厚みを加えた値を用いた。

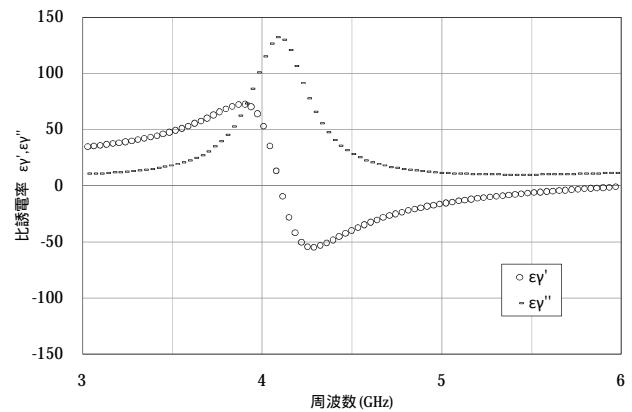


図12 正方形の導電材(一边30mm)による試料の等価比誘電率

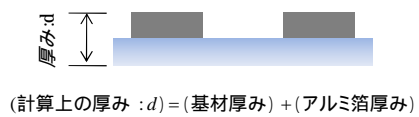


図13 等価比誘電率の計算に用いた試料の厚み

3.4 異なる形状の試料を多層化

直径0.2mmのワイヤーを間隔10mmで配置した試料と、一边が20mmの正方形の導電材を周期配列した試料を多層化したときの透過減衰量の測定結果を図14に示す。

各々の試料の単体における透過減衰量は既に示したが、多層化によってそれらの効果が加算された結果が得られ、電波が透過しやすい4GHz付近のほかは遮蔽される周波数帯となり、この方法が必要な電波を透過して不要な電波を遮る周波数選択の設計に利用できることがわかる。

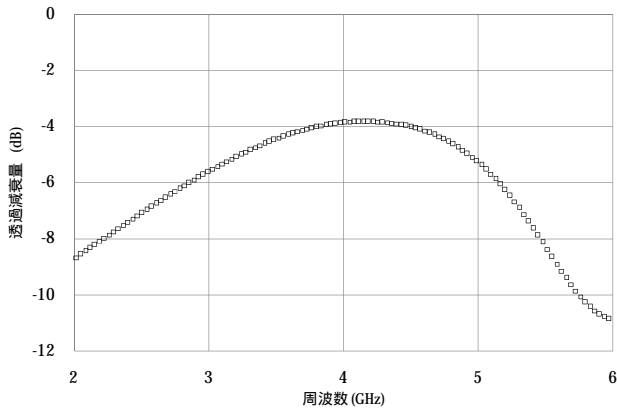


図 14 異なる形状の試料を多層化したときの透過減衰量

4. 結言

線状及び正方形の導電材を周期配列した試料を作製し、透過減衰量（シールド効果）など諸特性の測定、検討を行った。

線状の導電材を周期配列した試料では、使用したワイヤーの直径が大きいくほど、配列の間隔が狭いくほど透過減衰の効果が強く現れることを実験的に示すことができた。

また、正方形の導電材を周期配列した試料では、正方形の一辺の長さが異なると、固有の周波数に透過減衰の効果が得られること、正方形の一辺が電波の半波長に近い寸法に調整されたときにその効果が最大となること、またそのときの等価比誘電率の値は共振型分散の特徴を示すことなどがわかった。

さらに、異なる形状の試料を多層化することで、必要な電波を透過して不要な電波を遮るなど周波数選択型の電磁シールド材の設計が有効に行えることが確認できた。

本研究では、導電材の寸法や配置間隔について限定的な条件で試作したことから、さらに透過減衰量の絶対値を高めるための設計改善や効果予測の数式化を試みたい。

なお、本研究で使用した送受信アンテナやネットワークアナライザは、財団法人 JKA の「機械工業振興補助事業」により導入、設置した。

参考文献

- 1) 名倉良祐, 山本真一郎, 岩井通, 畠山賢一, "人工媒質を用いた反射・透過制御に関する考察例", 信学ソ大(通信)電子情報通信学会, B-4-55, Sept. 2007. ほか
- 2) 電磁遮蔽 & 電波吸収実践技術マニュアル, 畠山賢一(監修), pp.19-34, 三松株式会社, 2006
- 3) 畠山賢一, 蔦岡孝則, 兼本貴仁, 山本真一郎, 岩井通, "金属格子の反射・透過特性と単層型電波吸収体裏地としての応用", 信学論(B)電子情報通信学会, vol.J93-B, no.1, pp.101-111, Jan.2010.
- 4) 現代電気・電子材料, 平井平八郎, 豊田実, 桜井良文, 犬石嘉雄, pp.3-6, オーム社, 1978