

電磁波シールド材の設計法

キーワード：電磁波ノイズ、電磁波シールド材、シールド効果、導電率、透磁率

概要

近年のデジタル機器の普及は、電磁波ノイズを増大させており、このノイズを遮断するために電磁波シールド材が注目されています。最近ではシールド材の用途も多様化し、プラスチックや繊維といった金属以外の材料を用いたものの需要も増えています。ここでは、シールド材を設計するときに必要な材料定数の求め方を述べます。

シールド効果の理論式

電磁波シールド材の性能はシールド効果 S により評価されます。 S は、シールド材を透過する電磁波のエネルギーが、最初の 100 分の 1 になる場合を 20dB、1 万分の 1 になる場合を 40dB と表します。 S は、理想的な材料では次式で示されます。

$$S = A + R + M$$

A : 吸収損失

R : 反射損失

M : 多重反射補正項

以下それぞれについて説明します。

吸収損失(Absorption loss)

電磁波が材料に入射すると、材料内に誘導電流が流れ材料の温度は上昇し、電磁波のエネルギーは減少します。この減少量を吸収損失といい、入射する電磁波の周波数を f (Hz)、材料の厚み、導電率、透磁率をそれぞれ t (m)、 σ (S/m)、 μ (H/m) とすると、次式で表されます。

$$A = 15.4t\sqrt{f\sigma\mu} \quad (\text{dB})$$

例えば厚さ 0.1mm のアルミニウム板では、周波数 30MHz で 56dB、周波数 1GHz で 323dB の吸収損失をもつこととなります。

(30MHz ~ 1GHz の範囲は、国際規格で定められた電磁波ノイズ抑制の規制範囲です。)

反射損失(Reflection loss)

電磁波 (電界強度 E_0 、磁界強度 H_0) が空气中 (特性インピーダンス Z_0) から、材料 (特性インピーダンス Z_s) に入射し透過する場合、透過電磁波の強度 (電界強度 E_t 、磁界強度 H_t) は、材料の吸収損失と後述べる多重反射を無視した場合、次のようになります。

$$E_t = \frac{4Z_0Z_s}{(Z_0 + Z_s)^2} E_0$$

$$H_t = \frac{4Z_0Z_s}{(Z_0 + Z_s)^2} H_0$$

したがって反射損失 R は次式となります。

$$R = 20 \log_{10} \frac{E_0}{E_t} = 20 \log_{10} \frac{(Z_0 + Z_s)^2}{4Z_0Z_s} \quad (\text{dB})$$

ここで Z_0 は、放射源からの距離 r (m) と放射源の種類によって変化します。入射する電磁波の周波数と波長をそれぞれ f (Hz)、 λ (m) とすると、

$$r > \frac{\lambda}{2\pi} \text{ のとき、} |Z_0| = 120\pi$$

(このような電磁界を遠方界という。)

$$r \leq \frac{\lambda}{2\pi} \text{ のとき、}$$

(このような電磁界を近傍界という。)

放射源が高電圧、小電流ならば、

$$|Z_0| \cong \frac{1}{2\pi f \epsilon_0 r} \quad (\epsilon_0 \text{ は、空気中の誘電率})$$

放射源が低電圧、大電流ならば、

$$|Z_0| \cong 2\pi f \mu_0 r \quad (\mu_0 \text{ は、空気中の透磁率})$$

となります。

また、 Z_s は、入射波の角振動数を ω (rad/s)、材料の導電率、誘電率、透磁率をそれぞれ σ (S/

m)、 ϵ (F/m)、 μ (H/m)とすると、次式のように
なります。

$$Z_s = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad ()$$

例えば、厚さ0.1mmのアルミニウム板の反射
損失は、遠方界では、周波数30MHzで91dB、周
波数1GHzで76dBとなり、高電圧小電流の放射
源から0.1m離れた近傍界では、それぞれ115dB、
70dBとなり、低電圧大電流の放射源から距離
0.1m離れた近傍界では、それぞれ67dB、82dBと
なります。

多重反射補正項

(Multiple reflection correct factor)

材料内に侵入した電磁波が再び空气中に突き
抜けようとするとき、その一部は境界で反射さ
れ材料内を反対向きに伝播します。この電磁波
が最初の境界に達すると、その一部がまた反射
され材料内を伝播します。このように材料の中
で反射を繰り返すことを多重反射といい、これ
により材料を突き抜ける電磁波の量は多くなり
シールド効果は弱まります。

多重反射によってシールド効果の弱まる程度
(多重反射補正項)は、材料の厚みを t (m)として
多重反射波の無限級数を解くことにより以下の
ように求まります。

$$M = 20 \log_{10} (1 - \lambda^{-2t/\delta}) \quad (\text{dB})$$

ここで δ は、波の浸透深さです。

さて、遠方界の時と近傍界で放射源が高電圧
小電流の場合には、電磁波は最初の境界で多く
が反射されるため多重反射はほとんど起こりま
せん。また、近傍界で放射源が低電圧大電流の場
合でも、材料の厚みが充分大きければ多重反射
は無視できる程小さくなります。

例えば、アルミニウム板の場合、周波数30MHz
では厚さ15 μm 以上、周波数1GHzでは厚さ2.5
 μm 以上あれば多重反射の項は無視できます。

電磁波シールド材の理論設計

いま1.3GHz、20kWのレーダー基地局から100m
だけ離れた場所に民家があり、この民家内の
デジタル機器をレーダー波から保護すること

を考えましょう。レーダー波が民家に浸入する
時の電界強度はおよそ7.75V/mであり、ディジ
タル機器が誤作動しない限度の電界強度は1V/m未
満と考えられますので、18dB以上のシールド効
果を有する電磁波シールド材が必要です。材料
として銅の10⁷倍の抵抗率をもつ導電性材料を用
いた場合、上の理論式から計算すると、厚みが
0.1mm以上あれば満足できることが分かります。

実験値と理論値

それでは実際に、厚み450nmのITO(In-Sn合
金酸化物)薄膜で作られたシールド材のシール
ド効果を測定し理論値と比較してみます。実験
は、小型試料のシールド効果測定法として一般
的なKEC法^{*}を用い、高電圧小電流放射源から発
生する電磁波ノイズを1mmの距離において遮蔽
する場合を考えました。結果を図1に示します。
高周波数側で偏差が大きくなっているのは、理
論値を求める際に、 $\sigma \gg j\omega\epsilon$ と推定して $j\omega\epsilon$
を省略したことにより生じたものと考えられま
す。このことを考慮すると、実験値と理論値とは
ほぼ相関状態にあると言えます。

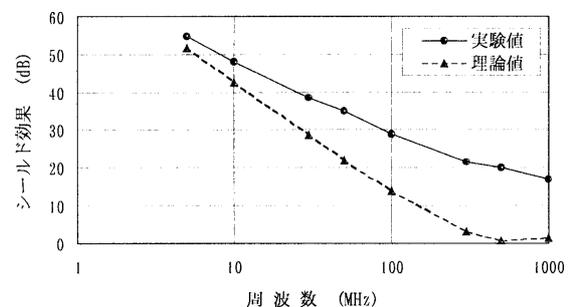


図1 シールド効果の実験値と理論値

まとめ

ここで述べた理論式は、開口部や不連続部が
なく、表面が滑らかで、大きさが無限大であとい
う理想的なシールド材に対して成り立つもので
す。したがって現実のシールド材を測定した実
験値と一致するとは限りません。しかしシール
ド材の設計に際して、どのような材料を用いれ
ばよいのか、厚みをいくらにすればよいのかと
迷ったときに指針を示すものとしては有効です。

*KEC法：(社)関西電子工業振興センターが開
発した近傍界における電磁波シールド効果の代表
的な測定法。