電波干渉防止のための電磁シールド*

藤 野 洋 三**・鬼 頭 博 明***

Shipboard Electromagnetic Shielding for large space to prevent radio interference

By Yohzou Fujino, Hiroaki Kitoh

Shipboard electromagnetic interference is a major problem for FRP or wooden hull ship. Electromagnetic disturbances to electronic and electric equipment on board the ship are mainly caused by its own radio transmitters. Some experiment has been made to find out materials which are good for electromagnetic shielding and show high resistance to eddy current on the surface of materials at the ship's rolling movement.

It has been found that knitted wire mesh, punched metals and expanded metals—these materials show high resistance to the eddy current in themselves—are not effective materials for shielding large space. This paper gives technical information about electromagnetic shielding, such as testing method of material and construction, and general notes for having good electromagnetic shielding for FRP or wooden ship.

1. はじめに

電磁波障害に関する問題は古くからある問題ではあるが必ずしもその対策が明確にされていない。

FRP 船、木造船等では搭載されている情報機器等が自船が送信する電波からの電磁波障害を受けやすい状況にある。

最近、防衛庁と木造船における電波による電磁波障害の対策（あるスペースを電磁シールドする方法）についての協同調査・研究を実施したものでその内容を紹介する。

2. 電磁波シールドの基礎知識

電磁シールドの機構を理解するために電磁波の性質を以下に簡単に説明する。

電位差のあるところには、電界（V/m）が存在し、電流が流れているところには、磁界（H/m）が生ずる。この電界又は磁界が時間的に変化すると

電磁波として空間に放射され伝播していく。電磁波は放射源から十分離れた場所では電界と磁界の方向は進行する方向に対して垂直な成分のみとなり遠方へ伝播していく。このような電磁波は平面波という。放射源に近い場所では遠い場所に比較して放射源の性質（電界又は磁界）の影響を受けやすく、通常磁界成分と電界成分を分けて論議する。具体的には放射源からの距離 r とすれば $r < \lambda / 2\pi$ の範囲を近傍電磁界、 $r > \lambda > 2\pi$ の範囲を遠方電磁界という。ただし λ は電磁波の波長である。遠方電磁波の領域である $r > \lambda / 2\pi$ の範囲では電磁波は先に説明した平面波となる。

無限平面の金属板に対する電磁波のシールド効果として次の3つの要素が考えられる（図1参照）

A：吸収損失………シールド板の内部での吸収
（板の厚さに比例）

R：反射損失………シールド板の表面での反射

B：内部反射損失…シールド板内の内部での反復反射
とすると

$$SE = A + R + B + (dB)$$

SE：全シールド効果(dB)

上記各損失の特徴を概括すると

*原稿受付 平成3年10月21日

**防衛庁技術研究本部（東京都目黒区中目黒2-2-1）

***正会員 NKK 鶴見製作所（横浜市鶴見区末広町2-1）

図1 シールド材による電磁波の減衰

$$A(\text{dB}) = 8.69 \left(\frac{t}{\delta} \right) \quad (\text{dB})$$

t : 金属板の厚さ (m)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

μ : 金属板の透磁率

σ : " 導電率

$$R = 168 - 10 \log \left(\frac{\mu \cdot f}{\sigma} \right) \text{dB}$$

内部反射損失 (B) は電界に対しては境界面 I ではほぼ全反射するため内部反射損失は少なく無視できる。

図2 電界の吸収損失と反射損失

上記の式より平面に関して周波数が上がると吸収損失は上がるが反射損失は減少する。(図2参照)

このシールド効果の基本式は実際に応用する場合多くの配慮を要する。即ちシールド効果は使用するシールド材の特性によってのみ決まるものではなく発信源と受信源の距離、実際の応用時のシールド材の不連続性、また基本式が無限平面を想定していること、実際のシールド対策の場合共振現象など総合的にシールド効果に及ぼす要因が沢山あるからである。

3. シールド効果の測定

シールド効果の測定にはいろいろな方法があるが次に我々が参考とした方法について説明する。

3.1 材料のシールド効果測定法 信号発信用アンテナと受信アンテナの2つのアンテナを使用し、その間に試料を挿入し、試料がない時のレベルを0 dBとして、試料挿入による減衰ロスを測定して求める。

即ちシールド効果 SE は

$$SE(\text{dB}) = 20 \log \frac{V_1}{V_2}$$

V_1 : 試料がない場合に受信アンテナに誘起された電圧

V_2 : 試料を挿入した場合に受信アンテナに誘起された電圧

我々はこの計測を図3に示す方法で実施した。計測データ例を図4に示す。

3.2 シールドルームのシールド効果測定方法 あるスペースを電磁シールド材をシールドしたシールドルームのシールド効果測定法にもいろいろあるが広く利用されている MIL-STD-285 の一例を紹介する。(図5参照)

発信機をシールドルームの外側に、受信機を内側に配置することが要求されている。この方法で注意しなければならないことは発信された電磁波が内部へ漏れた時、シールドルームの内側で定在波が発生する場合があるということである。(この周波ではシールド効果が著しく低下する。)

測定点については概略以下のように記述されている。

1) すべての貫通パイプ、フィルタ、換気口はすべての界と周波数において測定する。

図3 シールド材料のシールド効果の測定方法
測定方法の概要 (MIL-STD 285 TESTING SYSTEM)

図4 各種材料のシールド効果

図5 平面波の減衰測定

2) 全てのドアは、磁界では各側辺について1点ずつ4つの位置で測定する。電界と平面波では送信アンテナをドアの中心に置き、受信アンテナでドア全体とフレームの所で測定する。

3) 壁の全ての垂直の継ぎ目は壁の高さが10フィート以下であれば1点だけ測定する。10フィート以上であれば少なくとも10フィートに1点について測定する。天井と床の継ぎ目については容易に出来るのであれば測定する。磁界、電界とも同じ位置で測定する。

図5において d_1 は最小72"、距離はできるだけ大きく、Sの出力によってのみ制限されるものとする。ただし、常に波長の2倍以上の距離を保たなければならない。 d_3 は最小で2"である。受信アンテナ R_2 はシールドルーム内の任意の所に位置し、受信

機の指示値が最大になる方向とする。 R_3 は基準値測定用の受信アンテナ S_1 または S_2 から2"以上24"以下の任意の所に位置し、受信機の指示値が最大になる方向とする。また R_3 は容量結合するのを防ぐため、 S_1 または S_2 から2"以下にしてはならない。シールドルームの減衰量は、 R_1 の位置を変えずに、受信アンテナ R_2 の位置から R_3 の位置にスイッチしたとき、受信機Dが同じ指示値になるのに必要な減衰器AのdB設定の増加量に等しい。シールドルーム壁に対する送信アンテナ R_1 の位置は、換気口やパネル間の接続部に対して任意の方向であり、シールドルームの周りの任意の位置である。測定周波数は400MHzとされている。

4. 大きなスペースを電磁シールドにする 場合の注意事項

一般に我々船舶運行・建造にたずさわっている多くの者は電磁シールドを行う必要がある場合、金網程度でそのスペースをかこえれば目的が達成されると考えているのではなかろうか。しかし実際は以下に述べる「複数の隙き間（孔）に関するシールド理論」があり大きなスペースを金網のような隙き間（孔）のある材料でかこっても電磁シールド効果はあまり得られない。

4.1 複数の隙き間（孔）ある電磁シールド材に関するシールド理論 電磁シールド材に、同じサイズの複数の孔が存在する場合（図6参照）その材料による全電磁シールド効果は減少する。電磁シールド効果の総減少量は2つの隣接する孔（開口部）の距離、妨害波の波長と孔の総数によって決まる。もしも2つの孔が最大寸法が同じで、少なくとも半波長以上離れているならば、シールド減少量は最小となり実用上ゼロと見なすことが出来る。しかしながら孔を接近させた時はもはや単一の孔として独立しては作用せず、最も悪いケースとしては孔同士が区別できずに孔の最大寸法の2倍の孔になってしまうことである。この状態ではカットオフ周波数を半減させ、カットオフ周波数以下の全周波数において全電磁シールド効果に対して6 dB減少する。複数の孔の電磁シールド効果の減少は孔が互いに接近した時、同じサイズの孔の数の平方根にほぼ比例して電磁シールド効果は減少する。即ち

$$SE = 20 \log \frac{\lambda}{2d} - 20 \log n^{1/2}$$

ここで n : 孔の数

$$S < \lambda / 2 > d > t$$

S : 孔の両端間の距離

d : 孔の直径

t : 電磁シールド材の厚み

λ : 妨害周波数の波長

不連続な一つの孔として取扱われる複数の孔のパターンの場合は孔の間隔はすくなくとも孔の最大寸法だけ離れていなければなりません。（丸い孔の場合は直径）

4.2 上記理論の確認試験 表1に示す特性を持つパンチングメタルを図7に示すモデルの外周にはり電磁シールド効果についての計測試験を

図6 孔あき材料（交互配列）

表1 パンチングメタル

項目	NO.	P-1
穴径 ϕD		$\phi 5$
ピッチ P		8P
板厚 T		1.0
開口率		35.4

丸穴60°千鳥

図7 模型（単位m）

図8に示す TDK 殿の電波暗室を利用して実施したのでその内容を紹介する。図7に示すモデルに対して電界計測用のアンテナ配置を図9に示す配置として送信アンテナの高さを $h_1 = 1$ mの位置より徐々に高くして行った場合、表2に示すように送信アンテナを高くするに従い電磁シールド効果が減少している。これは300MHzの電波の直進性をも考慮すると

シールド面寸法 12.0m(L)×7.6m(W)×7.2m(H) 室内有効寸法 10.5m(L)×6.1m(W)×6.8m(H)

図8 電波暗室

① 送信アンテナ ② 受信アンテナ
注記) 測定はその配置で送信アンテナ高さを変化させながら実施した。

図9 模型、測定機器配置

アンテナを高くするに従い関連する電磁シールド表面が多くなり上記の隙き間(孔)理論にあるように隙き間(孔)の数が多くなりモデル全体としての電磁シールド効果は低下するためである。尚このパンチングメタルの材料そのものの電磁効果は30cm角の材料を3.1で説明した方法で計測したものであるが、表2の $h_1=1$ mのものと比較すると後者は表面積が大きくなったこと(すなわち隙き間(孔)の数が増えたこと)による電磁シールド効果の低下と考えられる。

表2 電磁シールド効果の変化

電界強度 (dB)		遮蔽効果 (dB)	水平距離 (m)	垂直距離 (m)
外	内	(dB)	X1	h1
89.7	56.1	33.6	4	1
86.0	65.0	21.0	4	2
91.4	66.9	24.5	4	2.55
89.0	67.2	21.8	4	3
86.1	67.2	18.9	4	4

記事

- ・周波数300MHz
- ・電界強度 外とは模型の外側を示し、内とは模型内を示す。

5. 艦装上の注意事項

2. で述べたように電磁シールド材の艦装方法によって出来上りのスペース全体の電磁シールド効果は変わって来るので艦装上の注意事項について以下説明する。

5.1 扉と枠との隙き間の電磁シールド

扉と扉を受ける枠との間には、軽い接触だけではなく電磁シールド的に見て隙き間があると考えた方がよく、一般にこの扉の部分にはフィンガータイプ、扉と枠との接触を強固する締付方式等があるが、フィンガーは破損しやすい、又締付方式では締付動作という運用上の欠陥等があり、一般に船に適した扉ではない。

あるメーカーによると図10に示すように扉の周囲にフェライトと導電性ガスケットを配置するだけで開閉方式は従来のままで電界に対しては40dB以

図10 扉の周辺部の電磁シールド対策

上の電磁シールド効果が得られる。

5.2 電磁シールド材の接地について

電磁シールド効果は電磁シールド材の接地の有無に関係がない（陸上設備ではアース側からのノイズ誘導により電磁シールド効果が落ちる）ということが文献調査により明らかであったが我々の試験でも確認出来た。しかし感電防止を目的とした接地は必要であろう。

5.3 電磁シールド材の接続の良否による電磁シールド効果への影響

図 11 に示すように電磁シールド材と電磁シールド材の接続の良否は電磁シールド効果に顕著に現れる。板材の場合、板と板を重ねてビス止めする程度では高周波に対する電磁シールド効果は相当減ぜられ図 11 の①～④のよ

うな工夫をする必要がある。

6. 結 論

木、FRP等の電磁シールド効果のない材料で出来ている一般の船の一部のスペースを電磁シールドする場合、素材そのものの電磁シールド効果値そのままスペース全体の電磁シールド効果値になると判断するのは危険なことであり、電磁シールドしようとするスペースの大きさ、その素材の形状、艤装の方法によりそのスペースの電磁シールド効果は大きく変わること配慮しなければならない。特に金網のように隙き間のある材料を使用する時はモデル等により効果の確認実験を実施する必要がある。

7. あとがき

この調査研究には防衛庁、日立造船(株)神奈川工場、横浜ゴム(株)、北澤電機(株)、NKK等の関係各位の御指導・御協力を得て実施したものでありここであらためて御礼申し上げます。

文 献

- 1) シールド材料と手法, 住友スリーエムノイズ対策研究会編著
- 2) EMIS- β , 電磁シールド設計ガイド, TECKNIT
- 3) 磁性体による漏洩電磁波の抑制法, 社団法人電子情報通信学会

図 11 シールド材の接続例