＜特集／電磁波シールド＞

電磁シールドと評価・試験法

小 林 茂*

EMI Shielding Problems and EMI Shielding Test Methods of
The Computing Device and The Material

Shigeru KOBAYASHI*

計算用機器を中心とした電磁波妨害に対するFCC及びCISPRの規制値及びこれらの機器から発生する妨害波（雑音）の測定法及び電磁遮へい材の試験について述べる。

1. まえがき

最近、パーソナルコンピュータ、IC及びLSIなどを使用したデジタル電子機器が急速に普及してきた。同時にまた、電子機器の筐体も小型軽量化、耐腐食性及び低コストの要求からプラスチック化したが、プラスチックは電磁波に対して素通しであるため、デジタル機器から発生する電磁波が他の電子機器に影響を与える電磁波妨害 (Electromagnetic Interference, EMI) が発生し問題になってきた。例えば、米国では軍の通信、警察の無線、病院のME機器及び航空機の運行システムの被害などである。

しかし、他の電子機器に妨害を与える電磁波もこれを発生する電子機器にとっては有用な信号であり、これら電子機器が互いに共存できる状態、即ち電磁環境の両立性 (Electromagnetic Compatibility, EMC) の確立が必要である。

このような背景から電磁波妨害に対する早急な対策が必要となってきており、電磁波遮へい材料の開発が活発に行われている。そこで、これらに関する問題として、電磁波シールド及び電磁波遮へい材料の評価法について述べる。

2. 電磁波妨害に対する規制値

電磁波妨害に対する問題は従来からあり、電磁波妨害を発生する一般の電気機器に対しては、交流入力電源ラインから伝導する伝導雑音及び空中へ放射して妨害を与える放射雑音については各国で規制している。

しかし、最近とくに関心を集めているのは計算用機器 (Computing Device) から発生する電磁波妨害についての FCC (Federal Communications Commission, 米国連邦通信委員会) の規制である。FCC が規制している計算用機器は10 kHz 以上のクロック信号によって、デジタル処理を行うすべての電子機器を対象にしている。これらの電子機器は用途別に業務用(A)と家庭用(B)に分けられて規制されている。

FCC が対象としている計算用機器の規制は西独でも VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker, ドイツ電気技術者協会) 規格としてすでに実施されている。国際的には IEC (International Electrotechnical Commission, 国際電気標準会議) の下部機構である CISPR (International Conference Committee on Radio Interference, 国際無線障害特別委員会)

* 東京都立工業技術センター 電子部
〒115 東京都北区西ヶ丘3-13-10
☎03-909-2151

*The Tokyo Metropolitan Industrial Technology Center
13-10, Nishigaoka 3-chome, Kita-ku, Tokyo 115

が規制案を作成し検討している。FCC 及び CISPR の規制値及び規制案を表 1、表 2 に示す。

3. 電磁波シールド

電磁波妨害は図 1 に示すようにケーブルから伝搬される伝導性妨害と空間に放射される放射性妨害がある。伝導性妨害に対しては電源フィルタの挿入とか電子回路にフォトカップラなどを用いて

表 1 FCC の許容値

(a) 放射妨害波電圧の許容値

周波数 (MHz)	クラス A (業務用) 30 m 地点で測定 ($\mu\text{V/m}$)	クラス B (家庭用) 3 m 地点測定 ($\mu\text{V/m}$)
30~88	30	100
88~216	50	150
216~1000	70	200

(b) 端子妨害波電圧の許容値

周波数(MHz)	クラス A (μV)	クラス B (μV)
0.45 ~ 1.6	1000	250
1.6 ~ 30	3000	250

表 2 CISPR 規制 (案)

(a) 放射妨害波電圧の許容値

周波数範囲 (MHz)	準せん頭値許容値 (dB/ $\mu\text{V/m}$)
30 ~ 230	30
230 ~ 1000	37

試験距離 クラス A 30 m クラス B 10 m

(b) 端子妨害波電圧の許容値

クラス	周波数範囲 (MHz)	許容値 (dB/ μV)	
		準せん頭値	平均値
A	0.15 ~ 0.50	79	66
	0.50 ~ 30	73	60
B	0.15 ~ 0.50	66~56	56~46
	0.50 ~ 5	56	46
	5 ~ 30	60	50

解決できる。しかし、放射性妨害に対しては金属材料では電磁波遮へい技術は確立されているが、プラスチック材料では電波に対して透明であるため、導電性の付与が必要である。

現在、導電性の付与が行われている方法は大きく二つに分けられる。一つはプラスチックの表面に導電性の材料をコーティングする方法で、これにはめっき、塗料塗布及び溶射などがある。他のものは導電性の材料を分散混入する方法で、金属粒子、金属繊維及びカーボンの混入である。

計算用機器の電磁波シールドは次の点に留意する必要がある。筐体を構成する場合、導体板の接触する部分は出来るだけ接触を良くして接触抵抗を極力小さくする。図 2 に示すように、導体板の接触部は導電性の弾力あるガスケットを用いることにより接触を良くする。

また、入出力の導線はシールドケーブルを使用することが必要である。要するに、放射性妨害に対しては電子機器のシールド効果が一番悪いところによって決めるため、水も漏らさぬ配慮が必要である。

4. 電子機器から発生する妨害波の測定

図 1 電磁妨害の伝達経路

図 2 ガスケットを用いて電磁波シールドに配慮した筐体

図3 妨害波測定器の基本構成図

4-1 妨害波測定器

計算用機器から発生する妨害波の測定は妨害波測定器で行う。妨害波測定器の検波方式，帯域幅などの基本特性は測定値の統一化のため，規格化されている。妨害波測定器の基本構成を図3に示す。

回路構成は基準電圧と妨害波を比較測定することによって，定量的な値を求める構成になっている。そのため基準電圧発生器を内蔵している。測定部はスーパーヘテロダイン式のラジオ受信機と同じであるが，妨害波を評価する方法として，人間の聴覚に近似させており，そのため検波回路は準せん頭値検波を行っている。

例えば，ラジオを聞いているとき大きな雑音電波が入ってきても，次の雑音電波が入って来るまで時間間隔が長ければ人間の耳にはそれほどうるさく感じられない。しかし小さい雑音電波でも連

続的に入ってきた場合，うるさく感じられる。準せん頭値検波は後者のほうが大きな指示値が得られる回路方式である。

ここで，準せん頭値検波回路について述べる。図4に基本的な検波回路，充放電曲線及び動作波形を示す。図4-(b)において， T_c 及び T_D は時定数で， T_c は入力電圧の0.632倍， T_D は0.368倍になるまでの時間である。

このような検波回路に信号源からパルスが印加されると，出力として図4-(c)，図4-(d)に示すような指示値が得られる。図4-(c)は充電時定数(T_c)が小さく，放電の時定数(T_D)が大きい場合である。図4-(d)はこれとは反対に T_c が大きく T_D が小さい場合である。

これから分るように，充電が早く放電が遅ければせん頭値に近い値を示し，逆の場合はせん頭値より小さい値を指示する。妨害波測定器の検波回

充放電の繰返し(動作波形)

図4 準せん頭値検知回路の説明図

図5 疑似電源回路網

路は図4-(c)の特性が得られるような回路構成になっている。

4-2 妨害波の測定

妨害波の測定には次の二つがある。即ち、電源コードに沿って伝搬してくる妨害波を電源端子で測定する端子電圧の測定と、空間に放射される妨害波を測定する放射妨害波の測定である。

(i) 妨害波端子電圧の測定

この場合の測定には、妨害波測定器と供試電子機器の間に疑似電源回路網を挿入して行う。疑似電源回路網は図5から分るように基本的原理は低域通過フィルタで、電源ラインから伝搬してくる高周波の外部雑音を遮断する。また、供試電子機器側から電源側を見たインピーダンスを一定にする働きがある。

(ii) 放射妨害波の測定

空間に放射された妨害波を測定するもので、図6に示すような方法で行う。測定場所は妨害波が建物とか樹木などによって反射され、測定値に影響

図6 放射妨害波の測定構成図

響を与えるようなところを避けることが必要である。また、図6から分るように放射妨害波の測定は直接波と反射波を含めて測定するが、大地からの反射波は測定場所とか天候によって影響されるため、大地に金網を敷いて測定条件を同一にして測定する。

5. 電磁波遮へい材料の測定

5-1 電波の性質

電波は電磁波の略で電界と磁界から成っており、放射源から離れた距離によって伝わり方が異なる。放射源から近い場合は近傍電磁界（誘導電磁界ともいう）である。例えば、コイルに高周波電流を流した場合、コイル周辺に発生する電磁界に相当する。

ある程度距離が離れた場所では遠方電磁界となり、電波として平面波になる。近傍電磁界と遠方電磁界の境界は放射源の電波の波長の約1/6の距離である。平面波は図7に示すように進行方向に垂直な平面に一定の大きさの電界と磁界を持っている波で、電界と磁界は直角である。進む方向は右ねじを回すように電界から磁界に回転したときネジが進む方向である。

電磁波が放射される空間のインピーダンスは近傍電磁界と遠方電磁界とは異なる。遠方電磁界（平面波）では媒質の電波インピーダンスに等しく、自由空間の場合、

$$Z_0 = E/H = \sqrt{\epsilon/\mu} = 377 (\Omega) \text{ である。}$$

近傍電磁界の場合は電磁界を発生する放射源の特性とこれから離れた距離によって決まる。直線状アンテナから放射するときは放射源のインピーダンスが高いので、アンテナの近傍では電波イン

図7 平面波における電磁界と進行方向の関係

図8 電磁波シールドの考え方

ピーダンスも高い。ループアンテナが放射源となる場合、主として磁界が支配するようになり、電波インピーダンスは低い。

電磁波の強さは放射源からの距離を r とすれば、遠方電磁界の場合、電界も磁界も $1/r$ で減衰する。近傍電磁界の場合、直線状アンテナから放射されるような電波インピーダンスが高いときは電界は $1/r^3$ で、磁界は $1/r^2$ で減衰する。一方、電波インピーダンスが低いときは電界は $1/r^2$ で、磁界は $1/r^3$ の割合で減衰する。

5-2 遮へい効果の表し方

電磁波が電磁遮へい材料の表面に到達したとき、図8に示すような損失が発生する。電磁波の一部は表面で反射し、他の一部は材料の内部で吸収され、さらに再反射をして遮へい材料を透過する。これらの損失を順に、表面での反射損失A、吸収損失B及び再反射損失Cとすれば、材料全体の遮へい効果Sは次式で与えられる。

$$S = A + B + C$$

上式で、吸収損失が10 dB 以上ある場合は再反射の項Cは無視できる。A及びBの理論値は材料の比透磁率 μ_r 、比導電率 σ_r 、厚さ t (cm)及び周波

数を f (Hz)とすれば、次式で表わされる。

$$A = 168 - 10 \log \mu_r f / \sigma_r \quad [\text{dB}]$$

$$B = 1.31 t - \sqrt{f \mu_r \sigma_r} \quad [\text{dB}]$$

ここで、 σ_r は銅を1としたときの導電率。

遮へい効果Sは次に示す値を測定することによって求められる。即ち、材料の表面に到達したときの電界強度 E_1 、磁界強度 H_1 、電力 P_1 及び材料を透過したときの電界強度 E_2 、磁界強度 H_2 、電力 P_2 とすれば、

$$\text{電界に対する遮へい効果 } S = 20 \log E_2 / E_1$$

$$\text{磁界に対する遮へい効果 } S = 20 \log H_2 / H_1$$

$$\text{電力に対する遮へい効果 } S = 10 \log P_2 / P_1$$

である。

因みに、デシベル(dB)はある任意の値を比較して求めるものと、 $1 [\mu\text{V}/\text{m}] = 0\text{dB}$ とか、 $1\text{mW} = 0\text{dBm}$ などと定義して求めるものの二通りの使い方がある。

5-3 電磁波遮へい材料の評価法

電子機器からの電磁波妨害の評価は、4項で述べた方法により測定できる。しかし、電磁波遮へい材料に対する統一された評価法はまだ確定していない。

表1及び表2のFCC及びCISPRの放射妨害に対する規制値は計算用機器と測定点の距離(3m及び10m)を規定して測定したときの値である。この距離は電磁波妨害を規定している周波数範囲(30~1000 MHz)では遠方電磁界(平面波)での値である。一方、電子機器内で生じる電磁波妨害問題は放射源が筐体の側壁に接近しているので、近傍電磁界の問題とも考えられる。

従って、電磁波遮へい材料の評価法も近傍電磁界として評価する方法と、規制値と同じように遠方電磁界(平面波)として評価する方法が行われて

図9 自由空間法

いる。

ここでは、(1) 自由空間法(図9)、(2) ボックス法(図10)、(3) 同軸伝送線路法(図11)、について述べる。

(a) 自由空間法

この方法は実際の計算用機器から発生する妨害波を測定する方法とほぼ同じである。筐体の前面に試料をとりつけ、取付前と取付後の電界強度を測定し、遮へい効果を求める。この方法は低い周波数領域では使用するアンテナの形状が非常に大きくなること、また比較的出力の大きい発振器が必要になる試験法である。平面波による測定法である。

(b) ボックス法

図10に示すような約数10cmの金属性の筐体を中心で仕切り、この部分に窓をあけ試料を取付ける。取付前と取付後の値を測定することによって遮へい効果を求める。アンテナが直線状のものか、ループかによって電界測定か磁界測定かになる。

この方法は筐体の形状寸法によって、筐体自体の大きさが測定周波数と同程度となり、反射波のため定在波が立ち正確な測定が出来にくい面がある。誘導電磁界による測定法である。

(c) 同軸伝送線路法

同軸伝送線路法の測定構成図及び測定治具を図11に示す。試料は図11に示すようにドーナツ型のものを使用する。測定は試料取付け前と取付け後の電力を比較測定し、遮へい効果を求める。測定における電磁波のモード(形)はTEM波(Transverse Electromagnetic Wave)で、電磁波の進行方向に対して垂直な面内に電界と磁界の成分を有する平面波である。

この方法は電磁波の進行方向に直角に試料を挿入するが、この方向には電界成分も磁界成分も無いいため、モードの乱れがなく比較的正確な測定ができる。また、この測定法は理論値と比較的良く一致すると報告されている。

ところで、上記のいずれの方法で遮へい効果の試験を行う場合、正確に測定するには遮へい材料と測定治具が完全に低インピーダンスで接触していることが必要で、そのためには接触面に導電ペーストを塗布するなどの配慮が必要である。

6. あとがき

計算用機器から発生する電磁波妨害に対する規

図10 ボックス法

図11 同軸伝送線路法

制値, これらの機器から発生する妨害波の測定法及び電磁波遮へい材の評価法について述べた。計算用機器類に対する規制はまだ我が国では実施されていないが, 早晚実施されると思われる。

今後, 一層開発が進展すると思われる電磁波遮へい材料の評価法が統一化し確定されることが望まれる。

参 考 文 献

- 1) 松井 夫訳: 新ノイズ対策 (㈱日本技術経済センター (昭52, 2月)
- 2) 電磁妨害に対する規制と対策 日経エレクトロニクス。 (1982, 7, 19)
- 3) David E. Stutz; Comparison of EMI Shielding Test Method. Battelle Columbus Laboratories (1981, 1.)
- 4) 横島一郎: EMI規制と電磁シールド, 金属表面技術協会講習会テキスト (1984, 2)
- 5) Peter Grant: Shielding' Analysis Aids Material Section, Microwaves. vol 21, No. 10 (1983, 10)
- 6) 岡村万春夫: 情報処理装置および事務用機器の無線周波妨害規格について, 東陽通商㈱主催 セミナー資料 (1983, 9)
- 7) 広世雅昭: 導電プラスチック材のシールド特性測定, 工業材料 vol. 30, No. 10.
- 8) 有竹国太郎: 雑音測定器の概要 東京都立工業技術センター 雑音防止技術講習会テキスト (昭和46年10月26~27日)

統計処理プリンター機能付 電解式メッキ膜厚計 モデルGP-08、G-07 新登場

新型GP-08は、従来の器械に全自動統計処理プリンターを内蔵し、増々、便利になりました。G-07は計算器が付いており、校正計算、統計処理等の計算(プリント)が簡単に出来ます。

モデル GP-08

膜厚計の総合メーカー販売輸出/英国エルコメーター社総輸入元
電 測 工 業 株 式 会 社
ELEC FINE INSTRUMENTS CO., LTD.
東京都中野区中央2-47-1 電話(03) 3 6 5 - 0 8 6 1 (代表)
テレックス 2 3 2 - 3 1 3 1

モデル G-07