＜特集／電磁波シールド＞

電磁シールドとEMI規制

横 島 一 郎*

Electromagnetic Shielding and EMI Regulations

Ichiro YOKOSHIMA*

電子機器や電波利用機器の著しい普及にともなって、これらから放出される要、不要の電磁エネルギーによる各機器間の相互干渉、すなわち、EMIが増加しつつある。そこで、各種機器の健全な発達と有効な利用を促進する上から、EMIに対する法律的な規制が一段と強化されている。また、技術的には、機器間の電磁気的な結合を除くための電磁シールド技術がますます重要視されている。本稿では、電磁シールドの基本的な技術と、EMI規制の最近の動向について述べる。

1. まえがき

電子技術の著しい発達にともなって、電気・電子・電波利用機器が社会のあらゆる分野に使用されるようになり、一般家庭から社会の中核部分に至るまで、極めて重要な役割をはたしている。これらの機器は、無線通信やレーダなどのような、目的とする電波の他にも、各種の意図しない不要な電磁エネルギーを放射している。

一方、電子機器や電波利用機器が、上記のような人工的な電磁放射や、さらに雷などの自然界からの電磁放射を受けると、通信障害や誤動作などの様々な機能障害を生ずる可能性がある。電磁気的な原因による障害をEMI (Electromagnetic Interference) という。EMIが公衆通信回線、銀行のオンラインシステム、交通管制システム、ロボットなどに生ずると、大規模な社会的、経済的混乱を引き起したり、人命にもかかわる危険性がある。また、強電磁界中に生体が置かれると各種の障害を生ずることが指摘されている。

このように、すべての電気・電子機器は、EM

Iの被害者にも、また加害者にもなり得る。そこで、EMC (Electromagnetic Compatibility)、すなわち、各種の機器が人間社会や自然界において互いに安全に両立し得る電磁気的技術や手法の確立が叫ばれている。

このため、電波の適正な管理や不要電磁放射の抑制を行うと共に、機器が一定レベル以下の電磁界中で安全に動作することが要求されるようになり、これらに関する規格や法的規制が、今後、一段と厳しくなるものと考えられる。

また、機器からの不要放射を防止したり、外部電磁界から機器を保護するための電磁シールド技術がますます重要になっている。

2. 電磁シールド技術

電磁シールドは、一定の機器と他の機器あるいは物体との電磁気的な結合を遮断する技術である。最も理想的な電磁シールドは、導電率が無限大である導体によって、一部のすき間もないように囲むことにより実現できる。少なくとも、通常の金属板で囲まれた空間は、特殊な場合を除いては、

* 電子技術総合研究所 高周波研究室長
〒305 茨城県新治郡桜村梅園1-1-4
☎ 0298-54-5035

* Electrotechnical Laboratory, Radio Electronics Section,
1-4, Umezono 1-chome, Sakura-mura, Niihari-gun,
Ibaraki 305

ほぼ理想的に電磁シールドされている。

しかしながら、このような単純な空間を利用できるのは極く限られた場合だけである。普通の機器では、外部と何らかの情報の授受を行うための開口部、例えば、表示部分・信号線・アンテナなどが必要である。

また、多くの場合、電源線、動力伝達用シャフト、換気孔、さらに、フタや扉などの開閉部分などが必要となる。したがって、一般の機器の電磁シールドには、これらの部分を考慮した技術が不可欠であり、そのための各種のシールド機材が開発されている。

2-1 導体板による電磁シールド

導電率の大きい導体で作られたケースあるいは筐体は、最も基本的なシールド方法である。導体によるシールド効果は次のように考えることができる。電界に対しては、図1(a)のように導体が電界をショートさせて弱める効果がある。導電率が無限大の場合には導体中の電界が零になり、完全にシールドされる。

一方、図1(b)のように交流磁界中に導体を置くと磁界の変化を妨げるような電流が導体中に生ず

る性質がある。すなわち、導体に誘起された電流によって二次的に発生した磁界が、入射磁界を打ち消す事になる。導体の導電率および周波数が大きい程この効果は、大きい。したがって、直流磁界に対しては、非磁性の導体によるシールド効果は無い。このため、直流または低周波磁界のシールドには、磁気抵抗の小さい強磁性体を用いる必要がある。

一方、電波に対するシールド効果は次のように考えることができる。図1(c)のように導体平板に平面波状の電波が入射すると、一部は反射され、他は導体中に進入する。この時、導体中に発生する電磁界や電流は、前述の効果に従って定まる。

導体中の電波は厚さ方向に指数関数的に減衰しながら反対側の境界面に達する。ここで、一部は反射され、一部が外部へ放射される。導体中の減衰量は、主として導体の導電率と透磁率、および周波数に依存している。これらの値が大きい程減衰は大きい。

減衰が $1/e$ ($e \doteq 2.78$) になる厚さ方向の距離を“表皮の深さ”(Skin Depth)という。導体平板の平面波に対するシールド効果 S は次式で与

図1 導体板による電磁シールド効果

えられる。

$$S = -20 \log | F_o / F_i |$$
$$= 20 \log | e^{rt} \frac{\eta_o}{\eta} (1 + \frac{\eta}{\eta_o})^2 [1 - e^{-2rt} (\frac{\eta_o - \eta}{\eta_o + \eta})^2] | \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

ここに、 F_i および F_o は、入射波および透過波の電界又は磁界強度、 η_o は空気中の波動インピーダンス (約 120π オーム)、 t は導体の厚さ (m)、また、 η および r は導体板の波動インピーダンスおよび伝ばん定数であり、次式で表わせる。

$$\eta = \sqrt{j2\pi f \mu / \sigma}, \quad r = \sqrt{j2\pi f \mu \sigma} \quad (2)$$

f は周波数 (Hz)、 μ および σ はそれぞれ導体の透磁率 (H/m) および導電率 (S/m) である。非磁性体では $\mu \div 4\pi \times 10^{-7}$ (H/m) である。図 2 に上式の計算例を示す。表波の深さ δ は (2) より $1 / \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ (m) となる。 $t \ll \delta$ の場合には導体中の電磁界および電流の厚さ方向の分布は一様となる。この場合のシールド効果は

$$S \div 20 \log (\eta_o \sigma t / 2) \quad (3)$$

と近似でき、周波数に依存しなくなる。

通常の機器のシールド効果は、さらに、形状および寸法に依存している。このため、上記の計算式により、正確にシールド効果を計算できない。しかしながら、物理的条件が明確であること、および測定が容易であることなどから、シールド材の特性を表わす重要な特性と考えられる。

2-2 開口部、開閉部の電磁シールド

導体と導体の接続部の隙間や、導体面上の開口部が存在すると、そこから電磁界が洩れる可能性がある。いま、導体板に図 3 のように電流を切る

ようなスリットが存在する場合について考える。スリットの長さが、電波の波長の 2 分の 1 となると、共振状態となり、スリットは開口面アンテナとして動作して、電波の洩れが強くなる。スリットの長さが 2 分の 1 波長以下の電波に対しては、遮断域となって、洩れが少なくなり、その度合は、断面が小さい程少なくなる。

そこで導体板間の接続部分は、スリットの長さができるかぎり短くなるように、取付けるネジの

図 3 スリットからの電界の洩れ

図 4 シールド用ガスケット材

図 2 平面波に対する導体板のしゃへい効果

図 5 ハニカム構造のシールド材

図6 貫通導体による電磁界の洩れ

間隔を狭くし、必要に応じて図4のようにバネ材を用いた接触片や、ガスケットを用いる必要がある。当然の事ながら、導体板の表面も電氣的接触抵抗ができる限り小さくなるように製作されていなければならない。

また、電子レンジの扉部分には特殊なマイクロ波用フィルタやフェライト吸収材を用いた、非接触形のシールド方法が用いられている。この方法

は直流的な接触が必ずしも確保できない部分に適しているが、利用できる周波数帯域幅は比較的狭い。さらに、換気孔や内部監視用窓には、金網、パンチドメタルが用いられており、より高いシールド効果が要求される場合には、図5のようなハニカム構造のシールド材が利用されている。

また、実験用としては粘着テープシールド材や、メリヤス網テープ（金網）なども便利な道具である。

2-3 貫通導体の電磁シールド

導体板でシールドされた機器の一部に、図6のような導体が、絶縁されて貫通していると、これがアンテナとなって、機器の内外の電磁氣的結合を生ずる。そこで、複数の機器を導線で接続する場合には、基本的には、各機器および導線を含めた全体を図7のように導体でシールドする必要がある。

図7 複数機器のシールド

シールドフラットケーブル

同軸リボンケーブル

同軸ケーブル

シールドツインケーブル

多対シールドケーブル

図8 各種のシールドケーブル

ある。このような目的に適した導線として、図 8 のような各種のシールドケーブルおよび機器に導線を着脱するためのシールド型コネクタが開発されている。これらのケーブルとコネクタ、また、コネクタと機器の接続部分は、2-2 で述べたようにスリットや、図 6 のような電磁界洩れの生じないような構造となっていることが必要である。また、金網にファスナを付けた、着脱可能な導線用シールド材も市販されている。

ところで、無線通信用などのアンテナは、電波を放射することを目的としている。また、商用電源系をシールドすることはできない。そこで、このように、シールドすることが不可能か、または無意味な貫通導線に対しては、目的とする周波数の電磁エネルギーのみを通過させ、他の周波数成分は遮断するようなフィルタが用いられる。

フィルタの構造は、電気回路的に所定のフィルタ特性を得るように設計すると同時に、機器のシールドケース等との適合性、すなわち取付け時に図 6 に示したような機器の内外に不足の電磁結合が生じないような構造である必要がある。

3. EMI 規制

EMI に関する規格には、目的外の放射に関する妨害波規格、機器の安全に関するサセプタビリティ（感受性）規格、および人体の安全保護に関する規格がある。内容的には、各項目の規制のための限度値、およびその試験方法が定められている。国際的な規格には、一般の電気機器に対する IEC（国際電気標準会議）規格および通信障害に対する CISPR（国際無線障害特別委員会）規格がある。

また、各国においてはそれぞれの規格を設けている。我が国においては、無線通信障害に関して電波技術審議会が CISPR に準拠した答申を行っている。また、各種の電気機器に関しては電気用品取締法に規定されている。さらに、JIS 規格や各工業会規格が定められている。

3-1 妨害波規格

妨害波に関する規格は、古くから各種の機器に対して多くの規格が国際的に、また、各国におい

て定められている。とくに最近では、情報処理機器からの妨害波規制が注目されている。情報処理機器は、高速のパルス信号や、ビデオ信号を利用しているため、基本的に極めて広いスペクトル分布を持つ妨害波を放射する可能性がある。

しかも、情報処理機器や素子が極めて多くの種類の機器に使用され始めており、その使用量が今後ますます増加する事が予想されている。このため、欧米各国および CISPR において、情報処理機器の妨害波規制に着手又は検討が進められている。我が国でも、CISPR の動向に合わせて検討が進められている。

ところで、機器からの妨害波出力に関する規格は、通常、機器から空間に放射される放射妨害波と、電源線に伝って出力される伝導妨害波について定められている。放射妨害波の規制値は、機器から一定の距離における電界強度で定められている。距離は規格により 3, 10, 30, 100 m などが用いられている。

電界強度の単位としては、 $\mu\text{V/m}$ か、または、 $1\mu\text{V/m}$ に対する比率を dB で表わした値、 $\text{dB}/\mu\text{V/m}$ が用いられている。 $E\mu\text{V/m}$ の電界強度を dB で表わすと、 $20\log_{10}E(\text{dB}/\mu\text{V/m})$ となる。

伝導妨害波については、一定のインピーダンスの電源に接続したときの、電源線間の端子電圧で

表 1 情報処理機器に対する FCC 規格

(a) 電源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	1,000	250
1.6 ~30	3,000	250

(b) 放射妨害波電界強度の許容量

周 波 数 (MHz)	クラス A 30 m 地点	クラス B 3 m 地点
30~88	$30\mu\text{V/m}$	$100\mu\text{V/m}$
88~216	50	150
216~1,000	70	200

表2 情報処理機器に対するCISPR規格案
(現在審議中)

(a) 電源端子妨害波電圧の許容値

クラス	周波数 (MHz)	許容値 (dB/ μ V)	
		準尖頭値	平均値
A	0.15~0.5	79	66
	0.5~30	73	60
B	0.15~0.5	66~56	56~46
	0.5~5	56	46
	5~30	60	50

(b) 放射妨害波電界強度の許容値

周波数 (MHz)	準尖頭値許容値 (dB/ μ V/m)
30~230	30
230~1,000	37

(試験距離 クラスA 30m クラスB 10m)

規制されている。単位には、通常、 μ V、または
1 μ Vに対する比率をdBで表わしたdB/ μ Vが
用いられている。

情報処理機器に関するFCC規格およびCISPR規格案を表1および表2に示した。これらの規格では、機種をクラスA（業務用機種）とクラスB（家庭用機種）に分けて、30MHz以下の周波数に対しては電源端子妨害波電圧の許容値を、また、30MHz以上に対しては放射妨害波電界強度の許容値を定めている。放射妨害波の規格の試験距離については、3~30mの範囲の値が採用されている。各規格を比較するために、電界強度が

図9 FCC, CISPR規格案の比較

機器からの距離に逆比例する*^(脚注)と仮定して、10m地点に換算した値を、図9に示した。これらの図表から明らかなように、家庭用機種に対してより厳しい規制を行っている。

3-2 サセプタビリティ(イミュニティ)規格

サセプタビリティ(感受性)またはイミュニティ(妨害排除能力)は、機器が電磁界中に置かれた時に、この電磁界により機能障害や誤動作を起さずに、正常に動作する能力を表わしている。各種の電子機器、無線通信機器、ME機器などに対するサセプタビリティ規格が、IEC, CISPRおよび各国において検討、実施されている。

規格の内容としては、電源線に対するインパルス入力や瞬時低下、信号ラインへの雷や開閉器からのサージ、放射電磁界、静電気などが取り上げられている。規格の一例として、図10にME機器に対するサセプタビリティ規格を示した。

3-3 人体に対する安全基準

生体が強い高周波電磁界にさらされると、そこひや不妊症などの機能障害を生ずる。そこで、各国において、高周波電磁界に対する人体の安全基準が設けられている。一例として図11に米国ANSI規格を示した。我が国においては、電気用品取

図10 ME機器の放射妨害波に対する感受性の限度値

図11 人体の安全に対する米国ANSI規格

* (脚注) 実際には、機器に対する近接効果(二分の一波長以下の距離)や測定環境により逆比例するとは限らない。

締法に、電子レンジからの電波洩れに対する規格が設けられている。

4. あとがき

以上、電磁シールドの基本的な考え方と、EM

I に関する規格の概要について述べた。電子機器の利用が増々拡大する中で、各種の EMI の規制が一段と重要になっている。そこで、規制値を満足した優れた製品を開発するためには、電磁気的な結合やそれを阻止する電磁シールドに関する現象の十分な理解、実際の設計技術と安価なシールド材の開発が必要であろう。

業界ニュース

トヨタ・GM合弁工場で 日本製鋼板を使用

トヨタ自動車は、GMとの合弁工場で使用される鋼板を、米国現地と日本からほぼ半分ずつ調達する方針。

トヨタの場合、防錆鋼板など米国にはない特殊な鋼板を使用していることから、全量米国製鋼板を使うのは難しいと判断したため。

(59. 4. 11 日経産業)

西独のラングバイン・

ファンハウザー社日本に進出

西独の有力な表面処理剤・設備メーカーであるラングバイン・ファンハウザー・ウエルケル (LPWAG) 社がわが国に進出、日本エル・ピー

・ダブリュー (東京都台東区台東 2-15-4。代表取締役西川忠弥氏) を設立した。

LPWAG は西独ノイス市に本社をおく資本金約 8 億円、従業員 500 人規模の企業だが、西独で 120 年の歴史をもつめっき薬品、設備の専門メーカー。なかでもプリント配線板のスルホールめっき添加剤では、高度の技術をもつとされており、電子産業の発展著しいわが国への進出を図ったもの。

(59. 4. 14 日刊工業)

時計会社金めっき部門を独立させる

オリエント時計は、東京日野工場で操業している時計のバンドやケースの金めっき部門を独立採算制とし、他企業からも積極的に受注することとした。

(59. 4. 24 日経産業)

中国から塗料工場の

設備改良機器を受注

綜研化学 (東京都) は、中国化工建設公司から遼寧省の審陽油漆廠 (塗料工場) の設備改良用機器を受注した。

同工場は第二次大戦中に大日本塗料が建設したもので、設備が老朽化しているので改良を実施、現在の年間生産能力 6,000 t から 12,000 t と倍増させる計画。受注金額 1 億 1,800 万円。

中国には現在、約 30 の塗料工場があるがいずれも老朽化しており、改良が必要となっているが、中国政府は今回の改良工事をテストケースに全国の改良を進める方針。

(59. 4. 27 日経産業)

先進の技術でグレードアップを!

米国ワイトコ社アーライドキライト
部門の無電解ニッケルめっき液——

ナイクラッド シリーズ

多様化に応える 技術のオクノ

●ニッケルーホウ素合金——

ナイクラッド 740 熱処理なしでも高硬度の皮膜の得られる B 1~5% タイプ
ナイクラッド 752 高ニッケル純度 B 0.5~1% タイプ
ナイクラッド 754 アルカリタイプのプリント配線板用 B 0.3~0.5% タイプ

●ニッケル—リン合金——

ナイクラッド 1000 塩水噴霧 1000 時間をクリアする高耐食性タイプ

●ニッケルスズ—ホウ素合金——

ナイクラッド 4001 銅表面にニッケル皮膜をめっきする際に密着を向上させるユニークなストライクめっき

* カタログ・技術資料は最寄の営業所へお問合せ下さい。

奥野製薬工業株式会社

本社 ☎541 大阪市東区道修町 3 丁目 2 番地 ☎ (06) 203-0721 (代)
東京 ☎ (03) 912-9241・名古屋 ☎ (052) 871-1601・大阪 ☎ (06) 968-6931
高崎 ☎ (0273) 46-1833・京浜 ☎ (044) 555-6511・浜松 ☎ (0534) 63-2443
徳州 ☎ (0263) 36-1318・広島 ☎ (082) 294-2970・九州 ☎ (092) 431-2478
東北 ☎ (0245) 31-2056・工場 ☎ (06) 961-7781・外国部 ☎ (06) 203-6667

OKUNO CHEMICAL INDUSTRIES CO., LTD.