〈特集／電磁波シールド〉

導電性塗料

長 島 義 久*, 豊 田 常 彦**

Shielding of Electromagnetic Interference by Conductive Coatings

Yoshihisa NAGASHIMA*, Tsunehiko TOYODA

電磁波シールド用塗料について紹介し、その内最も有望なニッケル系塗料について組成、諸特性、作業性、塗装管理等について述べる。

1. はじめに

最近の半導体・IC・LSI・超LSI工業の発展はめざましく、それ等製品の応用は非常に早い速度で多岐に渡り広まっている。例えば我々の身近にあるものとして、パソコンを始め冷暖房機、TV・VTR・オーディオ製品は言うに及ばず、自動車の各種制御機器等にも使われている。これ等に組み込まれているデジタル式電子回路が発生する放射性及び電導性電磁波はノイズ源となり種々の電子機器回路に使用されている半導体素子を直撃し、TV・ラジオ及び通信機の雑音発生の原因となったり、コンピューター機器の誤動作の原因となったりすることが報告されている。^{1, 2)}

最近になって、これ等の電磁波障害が問題としてクローズアップされてきたのは、軽量化、省エネルギー及びコストダウン等の市場ニーズにより、電子機器・家庭電化製品及びオーディオ等のハウジング類が金属製からプラスチック製へと転換が進んだことによると考えられる。

すなわち、金属類は数ミクロンの厚さでも電磁波を吸収したり、反射したりして、外部への漏えいは極くわずかであったが、プラスチックは電磁波に対し透明で、発生した電磁波を総て外部に放出してしまうためである。

金属からプラスチックへの転換は、家庭電化製品とかオーディオ製品だけでなく、今後、増々あらゆる方面で展開され、特に自動車産業においては低燃費化に向けて軽量化が積極的に進められるものと考えられる。アメリカにおける予想例を図1に示す。³⁾

日本においても外板の40%までをプラスチック

図1 米国自動車の1台当たりプラスチック使用量予測

* 大日本塗料(株) 技術本部 製品開発センター

〒230 神奈川県横浜市長谷区大東町12-1

☎ 045-521-1641

* Dai Nippon Toryo Co., Ltd. R&D Center

12-1, Daito-cho, Tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 230

化したスポーツタイプカーが話題となっている。

このように、今まで思いもつかなかった部品にまで金属からプラスチックへの転換が進められており、一方においては、各方面でのＩＣ・ＬＳＩ等の使用量が増加するのに比例して電磁波障害の問題が重要になってきており、その発生源も非常

に広い範囲に及んでいる。

現在、電磁波に対する法規制は我が国では実施されていないが、米国ではＦＣＣ（米連邦通信局）が1983年10月1日より本格的な規制体制に入り、ヨーロッパでも西独ＶＤＥ等の規制がすでに実施されている。ＩＥＣ（国際電気標準会議）の特別

表１ 各種シールド方法とその特長

シールドの種類法	シールド方法	長所	短所
導電性塗料	金属粉，カーボン粉等を導電フィラーとし，各種の合成樹脂と混練した塗料でスプレー，刷毛等で塗布する。	複雑な形状にも塗布可能 設備費少，量産可能 各種合成樹脂に塗布可能	マスキング工程が必要 数回の塗装が必要
	銀系 ニッケル系 カーボン系 銅系 銀，銅複合系	導電性良 導電性と価格のバランス良 低価格 導電性と価格のバランス良 導電性良	コストが高い 導電性悪い 酸化しやすい 高価格（銀系より安い）
金属ハウジング インサート	電磁波発生源を金属製品でカバーする	シールド効果良， 設備費少	工数増加，プラスチック化の意味が無い。
溶射	金属アークの熱で瞬間的に溶融させると同時に高圧空気で霧状にしプラスチックに吹き付ける。	導電性良	密着性に問題 設備費高価 量産不可能 亜鉛が毒性である。
導電性プラスチック	プラスチックに導電性フィラーを練り込んだもの。	成形とシールド一体化	プラスチック強度の低下 成形時のノズル詰り。
真空蒸着	真空容器の中でＡ１などの低沸点金属を蒸発させプラスチック面に薄膜を形成する。	導電性良	真空容器のサイズで製品の大きさが制限される。 アンダーコートが必要 非常に高価になる。
スパッタリング	真空容器中でＡ１イオンを金属に高エネルギーで衝突させ，飛び出した金属で薄膜を形成する。	導電性良	設備が高い。 大きさに制限がある。
金属ホイル貼り付け	粘着剤を片面に塗布した金属ホイルを目的の場所に貼り付ける。	導電性良 部分はく離しない。 サイズの変更容易	複雑形状は，貼りにくい。 手間がかかる。
還元法	塩化銀をプラスチック表面に塗布し，金属銀を析出。	導電性良 設備費少	工程複雑 マスキング困難
樹脂めっき	ＡＢＳなどのめっき可能なプラスチックにめっきする。	導電性良	適用材料に制限がある 設備高い。特殊技術要 す。公害対策が必要
金網	金網を貼り付ける。		メッシュが大きいとシールド効果が低下 部分的に限られる。
回路設計変更	回路設計変更により電磁波の放射を少なくする。	確実である。	単独では限度がある。

委員会であるCISPR（国際無線障害特別委員会）が各国に勧告案を提出している。

我が国の関係省庁は、通産省機械情報産業局及び郵政省管理局である。これらの省庁において妨害電波の許容値と測定法を答申するための審議が進められている。

2. 電磁波シールド(EMI)に対する各種シールド法

電磁波障害には、大別して二種類がある。一つは、電源線を通じて伝搬する伝導性のものであり、もう一つは、空間を伝搬してくる放射性のものである。前者は、電源線にノイズフィルターを取り付けることで解決され、今ここで取り上げるのは後者で、放射性電磁波に対する防護方法は、表1に示す種々の方法でなされている。

この内、現在一般に使用されている主な方法としては、回路設計変更により出来るだけ電磁波の放射を少なくした上に導電性塗料・金属ハウジング・溶射等を施す方法である。

今後、電磁波シールド材の市場は大幅に成長すると予想され、和光経済研究所の調査（図2）によると1990年には1400億円の市場規模まで成長し、その $\frac{1}{2}$ を導電性塗料が占めると予想されている。⁴⁾

一方、日本に先行していると言われているアメ

図2 電磁シールド材の市場

表2 アメリカにおける各種シールド法と予想

	1982 (%)	1985 (%)
金属ハウジング、インサート	54.1	39.3
導電性プラスチック	5.2	16.1
金属メッシュ・スクリーン	5.8	5.2
導電性塗料	13.2	15.5
回路設計変更	5.0	8.6
フレームスプレイ	4.6	2.9
アークスプレイ	4.5	2.5
金属ホイル	4.2	4.3
真空蒸着	2.3	2.9
導電テープ	0.6	0.5
スプレーめっき	0.3	1.8
スパッタリング	0.2	0.4

リカにおける各種シールド法と予想を表2に、同一コストの場合のシールド方法の採用希望比率を表3に示す。⁵⁾

上記二つの表から、現在は金属ハウジング、導電性塗料が主流をなしているが、今後は導電性プラスチックが伸びてくるものと思われる。

しかし、導電性プラスチックにはまだ物性、成形上の問題等解決すべき問題が多くある。現時点では、導電性塗料はシールドに対する性能、作業性などの点で優れている。

3. 電磁波防止用塗料の組成

導電性塗料は、絶縁性高分子に導電材を分散させた分散系導電材が使われている。電磁波防止用

表3 同一コストの場合のシールド方法の採用希望比率

シールド方法	採用希望比率 (%)
金属ハウジング	34.8
導電性プラスチック	27.4
導電性塗料	6.7
回路設計変更	4.4
真空蒸着	3.7
アークスプレイ	3.0
イオンめっき	3.0
電解めっき	1.5
金属メッシュ	1.5
金属ホイル	1.5

導電性塗料として現在使用されているものは、導電材（フィラー）とベヒクルを主成分とし、必要に応じて溶剤、沈殿防止剤、酸化防止剤及び種々の添加剤を加えて成る分散系複合導電性塗料が主流をなしている。

導電フィラー：導電性カーボン、金属粉末（金、銀、銅、ニッケル等）酸化されやすい金属に酸化されにくい金属をコーティング（めっき）したもの及び無機系、有機系微粉末表面を導電性金属で表面処理したもの等々材料の研究開発が進められている。

安定性、コスト及び導電性の点から電磁波シールド用塗料としてはニッケル粉末が最も多く使用されている。金銀はコストが高くつくので信頼性が要求され、コストを気にかけない方面で極く一部に使用されている。

結合剤：アクリル系の1液ラッカータイプ、エポキシ系及びウレタン系の2液反応タイプ等が主に使用されている。結合剤は、被塗物の材質により相性が異なるので注意して選定する必要がある。

溶剤：塗料中に含まれる溶剤の選定は、素材となるプラスチックの特性、特にその耐溶剤性により、各種組み合わせが検討されている。塗膜特性の抵抗値、ソルベントクラック、密着性及び乾燥性を充分考慮した上で選定される。従って、希釈等に当たっては、塗料メーカーの指定する専用シンナーを用いるのが一番好ましい。

添加剤：導電フィラーの表面酸化による抵抗値の劣化を防ぐための酸化防止剤、沈殿防止剤、分散剤等が使用されるが、プラスチック基材との組み合わせにより大きく影響されるので、その使い方には充分な配慮を要する。

4. EMI 防止用塗料に要求される特性

シールド効果：SE (dB)は入射する電磁波：Ei (μV)に対し、シールド材を透過して空間を伝搬する電磁波：Et (μV)との比で表わされ、次式によりデシベル (dB) の単位で示される。

$$SE = 20 \log (E_i / E_t) \quad (\text{dB}) \quad \cdots \cdots (1)$$

数値が大きい程シールド効果があることを示している。

図3 各シールド効果における入射電磁波 (Ei) と伝搬電磁波 (Et) の関係

20 dB, 25 dB, 30 dB, 40 dB のシールド効果を持つシールド剤における入射電磁波と伝搬電磁波の関係を図3に示す。

図3から判るように、20, 25, 30, 40dBのシールド効果を持つシールド剤は、それぞれ最大1000 μV, 1778 μV, 3160 μV, 10000 μV以下の発生源に対し、FCCの規制をクリア出来ることを示している。40dBのシールド効果があれば、市販されている電子機器の95%以上に適用可能と言われている。

UL 746 C 37 A による密着性の要求：EMI シールドを目的とした総ての金属コーティングに対して、アメリカUL規格ではプラスチックとシールド材が長時間の使用に対し、はく離などが発生しないように密着性について以下のような規定を設けている。

電子機器のハウジングに使われるシールド材に対し、UL 746 C 37 Aで規定した規格に合格したものを使用するよう提案し、1984年4月1日より実施することが決定された。テスト方法は、以下に示す4種類の条件下でサンプルを作成し、

① 一次評価

(As Received テスト) … 23°C, RH50%

40時間

② 長時間高温テスト …… 85°C以上で56日間

③ 長時間耐熱テスト … 35°C, RH90%で56日間

④ サイクルテスト … 85°C (1時間) → 23°C, RH50% (1時間)

→ -29°C (1時間) → 23°C, RH50% (1時間)

上記サイクルを3回くり返す。

A S T M, D3359に基づく粘着テープを用いた碁盤目試験後、塗装表面の状態を評価し、4 B レベル（約5%まではく離）以上を合格としている。

しかし、U L 当局は導電性塗料、亜鉛溶射等の金属コーティングに対する規格の実施に関し、1984年4月1日からの実施を計画していたが、完全実施については現在延期されている。この延期は長期的なものでなく、ごく短期的なものであると予想されている。

U L の難燃性に対する要求：事務機に使用されるプラスチック製ハウジングに対する難燃性は、U L 114で規定される。コンピュータールームで使用される電子機器類の難燃性はU L 478で規定され、シールド材に対しても上記二つの難燃性に対する規定が適用される。

5. 電磁シールド用塗料の主要特性

表4に電磁波シールド用塗料として用いられるものとして、カーボン系、ニッケル系及び銅系塗料の一例を上げる。

導電材としてカーボンを用いるとシールド効果は10～30 dBの範囲でやや不足する。ニッケル系では30～60 dBの範囲でシールド効果がかなり大きいことから、ほとんどの発生源を防御出来るため有望であろう。

銅系についてはシールド効果は充分であるが、耐酸化性に不安がありいろいろな改良策が検討されているところであるが、実際の使用に当たってはそれなりの確認を必要とする。

表4 DNT電磁シールド用塗料の一般特性

特性項目	品 番	プラニットL # 230	プラニットL # 230	プラニットL # 230
		EC-1000	EC-2000	EC-3000
構 成		アクリル系-1液	アクリル系-1液	アクリル系-1液
導電フィラー		カーボン	ニッケル	銅
色 相		黒	黒	赤茶
体積抵抗率($\Omega \cdot \text{cm}$)		0.5	0.005	0.002
電界波シールド効果(0.5～1000MHz, dB)		* 10～30	30～60	40～70
耐熱温度(°C)		90	90	60
指触乾燥時間(25°C, 分)		5	5	5
硬化時間(25°C, 時間)		16	16	16

注意) *印は推定値

表5 電磁シールド用の密着性

	プラニットL # 230	プラニットL # 230	プラニットL # 230
	EC-1000	EC-2000	EC-3000
25°C, 1日後	5 B	5 B	5 B
25°C, 7日後	5 B	5 B	5 B
85°C, 56日	5 B	5 B	5 B
35°C, 90%RH, 56日	5 B	5 B	5 B
冷熱サイクルテスト*	5 B	5 B	5 B

* 85°C-1h → 23°C, RH50%-1h → -29°C-1h → 23°C, RH50%-1h

以上3サイクル

評価はA S T M-D 3 3 5 9に準じて試験した。

表5には、電磁シールド用塗料の各種基材（A
BS：旭ダウ #191，変性PPO：EPL #190 J）
に対する密着性テストの結果を示す。

何れもULでの合格4Bをクリアしている。

図4に85℃での耐熱テスト1500時間までの結果
を示す。300時間位までわずかに抵抗値が上昇し
劣化するが、それ以後はほとんど一定となる。劣
化の程度は初期抵抗値の2倍以内である。

図5に85℃56日の耐熱テスト前後の電磁波吸収
特性の結果を示す。実線は耐熱テスト前の試料で、
点線は耐熱テスト後の結果である。耐熱テスト後
の吸収特性はやゝ低下（5 dB程度）しているもの
の实用的には問題ない範囲である。

ニッケル系塗料の作業性と塗膜の管理

ニッケル系導電性塗料を使用する上での作業性

図4 85℃長時間耐熱試験における加熱時間と塗膜の抵抗変化

基 材：変性PPO

測定器：タケダ理研スペクトラムアナライザー
TR-4172

図5 85℃、56日耐熱テスト前後のシールド効果の変化

図6 塗装粘度での導電フィラー沈降率

及び塗膜面の管理は、一般の美装用塗料と比較して非常に異なったものがある。第一は導電フィラーが一般の塗料用顔料と比較して比重が約2倍であること。従って、沈殿しやすく、塗料の再分散性、沈殿性が重要なポイントとなる。

次に市販塗料のスプレー塗装粘度（フォードカップ #4で15 sec）での沈降率を図6に示す。

沈降率の測定は、100 mlのメスシリンダーに上記塗装粘度に調整したニッケル系塗料を100 mlサンプリングし、一定時間経過後の上澄液の容量を読み取り、その数値を沈降率とした。

また、一旦沈殿した塗料に対する再分散性も、実際作業する上で重要な要因となる。

表6にニッケル系塗料の塗装粘度での沈殿性及び生塗料の再分散性の評価結果を示す。

外国製の生塗料は沈殿が硬く使用前に再分散させるのに苦労する。その点国内製の塗料は改良されており使い易くなっている。

表6 Ni系塗料の沈殿性及び再分散性

塗 料	沈 殿 性	再 分 散 性
プラニットL #230		
EC-2000	△	◎
国 内 某 社	○	△
外 国 某 社 A	×	×
外 国 某 社 B	×	×

6. シールド効果と抵抗値の関係

シールド効果はシュルクノフの式(2)で示される。

$$S = R + A + B \text{ (dB)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで S : シールド効果

R : 反射損失

A : シールド材による吸収損失

B : 内部反復反射損失

金属の平面波に対する反射損失は

$$R = 168 + 10 \log (\sigma_r / \mu_r) \cdot 1/f \quad \dots\dots\dots(3)$$

μ_r : 誘電率

σ_r : 比導電率

f : 周波数

$$A = 1.3 t \sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \sigma_r} \quad \dots\dots\dots(4)$$

t : シールド材の厚さ

BはA>10dB以上ならば省略出来る。

$$\text{従って, } S \div 168 + 10 \log \{ (\sigma_r / \mu_r) \cdot 1/f \} \\ + 1.31 t \sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \sigma_r} \quad \dots\dots\dots(5)$$

で近似される。

上記式中導電率 σ_r を比抵抗 P_B に周波数 f の単位をMHzに置き変えると

$$S \div 50 + 10 \log (1/f \cdot P_B) + 1.7 t \sqrt{f / P_B} \text{ (dB)} \quad (6)$$

で表わされ、 P_B 即ち比抵抗が小さい程シールド効果があることを示している。

膜厚50 μ で比抵抗 $0.005 \Omega \cdot \text{cm}$ とすると、100 MHz で 54.2 1000 MHz で 46.8 となる。

膜厚が薄く導電率の良好なものでは、表面抵抗と体積抵抗の間には

$$R_s \times t = R_v \quad \dots\dots\dots(7)$$

R_s : 表面抵抗 (Ω / s_q^*)

t : 膜厚 (cm)

R_v : 体積抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

なる関係式(7)が成立する。

体積抵抗 0.005, 膜厚50 μ ($5 \times 10^{-3} \text{cm}$) の表面抵抗は、 $R_s = 0.005 / 5 \times 10^{-3} = 1 (\Omega / s_q)$ となり、表面抵抗 $1 \Omega / s_q$ 以下とすれば、40 dB 以上のシールド効果が得られる。

実際にFCC規制に基づいて、シールド効果を測定するためには広い場所と高価な装置が必要である。

塗装現場でこのような設備を備えるのは経済的な問題だけでなく、電波暗室等大がかりな建物を必要とし、技術的にも困難な問題を伴う。

従って、塗料及び塗装方式がFCC規制に合格したものについては、表面抵抗で管理すれば充分と思われる。

参 考 文 献

- 1) NIKKEI ELECTRONICS 125~158 1982年7月19日
- 2) 化学工業事報 4~7 S58年5月25日
- 3) 日化協月報 22~32 1983年3月
- 4) 工業塗装 17~33 S57年7月15日
- 5) プラスチックス 20~ 1983年12月

* 各近1cmの正方形の相対する辺を電極とする二つの電極間の直流抵抗を表面抵抗と言ひ。通常 Ω / s_q 又は $\Omega / \square$ で示される。ここで s_q は square の略。

春季セミナー予告

塗膜性能—成膜技術の進歩

ただいま申込受付中です!

<日 時> 6月25日(月)~26日(火)

<会 場> 主婦の友文化センタービル