＜特集／電磁波シールド＞

無電解めっき法による EMI シールド

EMI Shielding by Electroless Plating

大 竹 了 雄*

Norio OTAKE*

最近各種電子機器の EMI シールドが大きな話題になっているが、そのシールド方法のひとつである無電解めっき法についてシールド特性を評価し、その有用性を述べるとともに将来を展望し、中でも低温高速型無電解ニッケルめっきが最適であることを述べる。

1. はじめに

最近の電子機器の伸びは実に目覚ましいものがある。IC等の半導体素子の品不足が騒がれて久しいが、今だに品不足は解消されず、電子機器の生産需要に大きな支障をきたしているのが現状である。

この電子機器のハウジングのプラスチック化に伴ない、電磁波障害が非常に重要な問題となってきた。コンピュータからのノイズが移動無線局に妨害を与えたとか、ポケット電卓が旅客機の航法装置を狂わせた、電子キャッシュレジスタが警察通信を妨害した、心臓のペースメーカーを狂わせた、あるいは電子ゲーム機がパトカーの通信を乱した、などの電磁波障害の例は多く知られている。これらは、プラスチックが電波に対して透明であることに起因している。このため、FCCがEMIシールドの規制を施行し出し、電子機器メーカーはその対策に苦慮しているのが現状である。

EMIシールド方法にはいくつかあるが、最近無電解めっき法が非常に注目されてきている。これは、従来から実用されてきた亜鉛溶射や導電性塗料などに比べて、シールド効果及び精度が高く、

信頼性のよいことがその主な理由で、無電解銅やニッケルめっきによる実用例が多く現われてきた。

そこで、無電解めっき法によるEMIシールドの特長と効果及びどのような無電解めっきが最適であるかについて述べ、さらにその将来性について展望する。

2. EMIシールド規制の内容

我々のまわりに、どのような雑音があるのかをまず整理してみたい。表1に示したように、我々のまわりには自然雑音、人工雑音あわせて非常に多くの発生源から電磁波が常に発生している。すべての電子機器はこれらの電磁波障害を回避しなければならず、また、デジタル機器のほとんどは無線周波エネルギーを発生するので、それで他の電子機器に影響を及ぼさないようにしなければならない。

一般的に、電子機器間のEMIの伝達は図1に示すようなメカニズムによって行われる。すなわち、

- ① 空間を介して電磁波または電磁結合の形で伝達する形態
- ② 機器相互間を連結する信号または電線ケーブルなどの導体を介して、伝導電流・電圧の

* 関東化成工業㈱

〒 239 神奈川県横須賀市池田町 4-73

☎ 0468-35-4600

* Kanto Kasei Co., Ltd.,

73, Ikeda-cho 4-chome, Yokosuka-shi, Kanagawa
239

表 1 電磁波の発生源

自然雑音	大気雑音（空電） 太陽 “ 宇宙 “	雷放電・不連続線・低気圧・吹雪・黄砂 太陽の黒体放射 銀河雑音
人工雑音	放電 “ （火花・アーク） すり接触 “ グロー放電 “ 高周波・超音波 “ 不要放射	点滅器（ネオンサイン・装飾電球）・リレー・ミシン サーモスタット・電子式金銭登録器・電気ドリル・ミキサー 掃除機・自動車イグニッション・高圧線 電気カミソリ・電気マッサージ機 蛍光灯・ネオン放電管・高圧水銀灯 電子レンジ・高周波電気溶接機・電気メス・魚群探知機 超音波洗浄機 燃料電子噴射装置・コンピュータと周辺機器 TV・FM・AM 受信機、CB 用送信機

図 1 EMI の伝達メカニズム

部からの電磁波を防ぐように、そのシールド対策をしなければならない。

このために、CISPR 及び FCC では、EMI シールドの規制をしている。（表 2－1 及び 2－2 を参照）

最近著しい普及ぶりをみせているパソコンなどでは、一般に30～400 MHzのノイズを多く発信させ、そのときの電界強度は500～4000 v/m といわれているが、FCC 規制を満たすには、パソコンのハウジングに対して、30～35 dBのシールド効果が必要とみられている。

形で伝達する形態
の2つの形態がある。

当然、以前から電子機器メーカーは、設計段階で、電子機器があらゆる電磁環境から障害を受けないように配慮してきていたはずである。しかし、最近のように電子機器が急速に普及し、プラスチック材料が大幅に使用されてくると、電磁波に対して透明同然なプラスチックに、電子機器から電磁エネルギーを外に出さないように、また、外

3. EMI シールド方法とその特徴

本来、EMIを抑制・制御するには、
① シールド技術、② 接地技術、③ ノイズフィルター技術、④ 配線布線技術、⑤ 回路設計、などの技術を総合してかからなければならず、また、機器本体だけでなく、ケーブルやコネクターについても配慮しなければならない。
しかし、ここでは、電子機器のハウジング等の

表 2－1 CISPR の許容値

周波数範囲 (MHz)	クラス A 装置	クラス B 装置
	30 m での許容値	10 m での許容値
30－88	30 (dB (μV/m))	30 (dB (μV/m))
88－230	35 (dB (μV/m))	35 (dB (μV/m))
230－1000	37 (dB (μV/m))	37 (dB (μV/m))

表 2－2 FCC の許容値

周波数範囲 (MHz)	クラス A 装置	クラス B 装置
	30 m での許容値	3 m での許容値
30－88	30 (μV/m)	100 (μV/m)
88－216	50 (μV/m)	150 (μV/m)
216－1000	70 (μV/m)	200 (μV/m)

E M I シールド方法にはどんなものがあるか、またその中で無電解めっき法が他の方法に比べてどうか、などにしぼり、考察することにする。

表 3 に各種電磁波シールド方法とその長所及び短所を整理して示す。

電子機器ハウジング等の E M I シールドとして実用されているのは、アメリカでも日本でも亜鉛溶射と導電性塗料が多く、この 2 法で約 90% 近くを占め、残りは無電解めっきその他が占めているようである。

表 3 に各方法の長所及び短所を簡単に記したが、どの方法にも一長一短があるので、実際には、適用したいハウジング等の形状や要求性能、コスト、生産性など多くの要素を総合して、それぞれにベターなものが使われることになる。しかし、筆者らの考えでは、無電解めっき、中でも無電解ニッケルめっき法が今後広く使用されるようにな

るものと思われる。(このことについては、後で詳しく述べる。)

亜鉛溶射は確かに古くから使われ、今もまだ多く使われているようだが、最大の問題は労働環境の悪いことである。このことは、作業性の悪いこととも併せて、大量生産しようとするときは特に大きな障害となる。そのほかに、品物の形状によっては、十分な溶射皮膜を施すことができず、そのためにシールド品質に大きなバラツキをきたす。また、皮膜が厚くバラツキも大きすぎるため、シールド性能のみならず、嵌合等の精度に支障をきたす。さらに、密着の悪いことも問題である。

一方、亜鉛溶射と並んでポピュラーなシールド方法に、導電性塗料の塗装があるが、これはシールド効果の低いことが最大の問題である。銀系塗料はシールド性能が高いが非常に高価なため、ニッケル系や銅系が一般的で、塗膜厚さは少なくと

表 3 各種電磁シールド方法とその長所及び短所

電磁シールド方法		長	所	短	所
表 面 処 理 に よ る 方 法	無電解ニッケルめっき	シールド効果が高い。膜厚が均一。形状に左右されない。耐食性がよい。		素材がある程度限定される。	
	無電解銅めっき	シールド効果が高い。膜厚が均一。形状に左右されない。		素材がある程度限定される。耐食性が悪い。耐磨耗性が悪い。	
	無電解 Cu + Niめっき	シールド効果が高い。膜厚が均一。形状に左右されない。		素材がある程度限定される。工程が複雑。	
	無電解めっき+電気めっき	成膜速度が早い。		膜厚不均一。形状に左右される。素材がある程度限定される。	
	真空蒸着	スパッタリングよりはシールド効果大。		作業性が悪い。膜厚が薄い。膜厚不均一。形状に左右される。マスキングが難しい。アンダーコートが必要。	
	スパッタリング	真空蒸着より膜厚を厚くできる。		作業性が悪い。膜厚不均一。アンダーコートが必要。形状に左右される。マスキングが難しい。	
	イオンプレATING	真空蒸着・スパッタリングより密着性がよい。		設備が高価。作業性が悪い。膜厚が薄い。マスキングが難しい。	
	亜鉛溶射	実績が多い。安い。		労働環境が悪い。密着性が悪い。精度が悪い。膜厚が不均一。形状に左右される。	
	導電性塗料	実績が多い。設備が簡単で作業容易。溶射よりは品物の形状に左右されにくい。		シールド効果が低い。導電性不均一。膜厚が不均一。形状に左右される。	
導電性プラスチック		安い。工程が短く生産性がよい。		シールド効果が低く、バラツキも大きい。形状に左右される。形状毎に金型・成形条件が複雑。	
金属ホイル貼付		作業が容易。安い。		作業性が悪い。形状に左右される。	

も50 μm は施さないと一応の効果は得られない。溶射に比べて作業性がよいという利点はあるものの、溶射と同様に品物の形状によって左右され、皮膜を均一に施すことができない。皮膜抵抗は溶射に比べて大きいので、膜厚のバラツキは即シールド性能の低下を招く。金属粉を塗膜中に均一分散させることの難しさもひとつのネックである。

導電性プラスチックの成形が最近注目されている。これは、導電性プラスチックそのもので成形するだけなので、表面処理がいらないため、安価にできるのが魅力ではある。そのために、アルミその他いろいろな金属フィラー及びマイカなどを金属化したフィラーなどを混練したプラスチック原料が市販され、応用検討されている。生産性の良さが買われてまもなく使われていくようになるが、この最大の問題は、成形品中の導電性フィラーの初期性能の維持と均一分散が難しい点である。導電性を均一化するために、品物の形状に合わせて金型設計及び成形条件を工夫しなければならない。そのために、テストピースや試作ではよい結果が得られても実際の量産成形品になるとシールド性能がでなかったり、大きなバラツキを生じたりすることが多く、信頼性に欠けることと標準化できない点がまだ大きな障害である。

真空めっき法は、品物の材質に左右されずにできるメリットはあるものの、蒸着、スパッタリング、イオンプレーティングのいずれにしても、真空中で薄膜を形成するため、作業性が悪い、つきまわりが悪い、皮膜が薄く信頼性に乏しい、アンダーコートを施さないと皮膜の密着性が悪い、など多くの問題がある。

一方、無電解めっき法は、シールド効果の大きいことや信頼性に優れているなどの点で最近特に注目を集めている方法で、すでに日本でもアメリカでも実用例が増えてきており、従来使われてきた亜鉛溶射や導電性塗料は今後無電解めっき法に代っていくだろうと期待されている。めっきであるため、多少プラスチック素材が限定されることはあるものの、現在使われている電子機器のハウジング等がABSやノリルが大半であり、これらはむしろ無電解めっきに最適な材質なので、素材の制約はほとんど問題にならない。無電解の銅あ

るいはニッケルで行えば、品物の形状に関係なく全て均一なめっき皮膜が得られ、しかもそれは金属の連続膜であるため、ミクロンオーダーの薄いめっき膜でも極めて高いシールド効果の得られることが最大の特長である。また、塗装などと組み合わせる部分めっきのすることも応用範囲を広げている利点になっている。

現在知られている（薬品市販または加工実績のある）無電解めっき（銅またはニッケルあるいはその組み合わせ）によるEMIシールド法について次にいくつかを記す。

- Enshield : Enthone 社
- Attenuplate : Udylyte 社
- Ronabond VEST : Lea Ronal 社
- Crown Shield : Crown City Plating 社
- Top Shield : 奥野製薬
- KEM Shield : 関東化成(めっき加工)

ほかに、Sheller Globe, Electroshield Corp., Metaplast Electrochemicals などのものも知られている。

4. 無電解めっき法によるシールド効果

電子機器のハウジング等に多く用いられるABSやノリルに対するEMIシールド用の無電解めっきのプロセスは、銅、ニッケルいずれも基本的には装飾用の樹脂めっきのそれとあまり変らない。

成形品

|

前処理（エッチング、キャタライザー、アク

|

セラレーター）

無電解めっき（銅またはニッケルまたはその組み合わせ）

無電解銅めっきを0.5～1 μ あるいは25 μ などの例もあれば、Cu 0.5～1 μ + Ni 1 μ （フラッシュめっき）のようなCu, Niの組み合わせの方法も知られているが、筆者らは、これら無電解銅を中心とする方法では、耐食性や耐磨耗性の点で問題があり、恒久的な信頼性の点ではむしろ無電解ニッケルだけの方がよいとの判断から、いくつかの比較試験を行い、最終的に、低リン含有の無電解ニッケルを約5 μm 施すのが総合的にみて最も

効果的であるとの結論に達した。我々はこの方法によって、2年前からすでにEMIシールドめっき加工（成形からの一貫生産）を実施している。（写真1の応用例参照）

次に、それらのいくつかの比較試験の結果を示す。

4-1 実験方法

4-1-1 試験片の作成

3t×150×150 サイズのABS試片に常法により、次のようないくつかの無電解めっき試片を作成した。

1) 無電解ニッケル (P 2%)	いずれも厚さは、 1 μm, 3 μm, 5 μm, 10 μm, 20 μm,
2) " " (P 8%)	
3) " " (P 13%)	
4) " 銅	1 μm, 3 μm, 5 μm,

めっき条件は、

無電解ニッケルめっき	1), 2), 自家製浴	3), 市販浴
Ni ⁺⁺	: 4 g/l	8 g/l
錯化剤	: 25 g/l	
次亜リン酸 Na	: 25 g/l	25 g/l
温度	: 70℃	70℃
pH	: 6.0	4.6
析出速度	: 15 μm/hr	3 μm/hr

無電解銅めっき（自家製浴）：

Cu ⁺⁺	: 1 g/l
EDTA	: 25 g/l
CH ₂ O	: 5 g/l
pH	: 12.0
析出温度	: 2 μm/hr

各めっき浴及び条件は、マイコンで自動コントロールして行った。

4-1-2 シールド効果の測定方法

測定機器：

タケダ理研製 TR 4172

測定条件：

周波数範囲	: 0-1000 MHz
管面縦軸 1 目盛当たり振幅	: 10 dB
リファレンスレベル	: 0 dB
分解能バンド幅	: 1 KHz
掃引時間	: 1 秒
入力アッテネーター	: 0 dB

4-2 実験結果

各試験片を 0~1000 MHz の周波数帯においてそれぞれどのようなシールド効果を示すかを測定した結果を図2~9に示す。

その結果をまとめると、およそ次のように要約することができる。

まず電界においては：

① 無電解ニッケルの場合

- i) めっき皮膜中のリン濃度に関係なく、膜厚が増すにつれてシールド効果は増大する。
- ii) リン濃度は少ない方がシールド効果は大きい。但し、リン濃度 8% と 13% のものでは、

図2 無電解ニッケル (P 濃度 2%) の電界におけるシールド効果

図3 無電解ニッケル (P 濃度 2%) の磁界におけるシールド効果

図4 無電解ニッケル (P濃度8%) の電界におけるシールド効果

図7 無電解ニッケル (P濃度13%) の磁界におけるシールド効果

図5 無電解ニッケル (P濃度8%) の磁界におけるシールド効果

図8 無電解銅めっきの電界におけるシールド効果

図6 無電解ニッケル (P濃度13%) の電界におけるシールド効果

図9 無電解銅めっきの磁界におけるシールド効果

シールド効果はほとんど同程度である。

- iii) 100 MHzまでは急激にシールド効果が増大し、その後周波数が大きくなるにつれて、シールド効果は徐々に減少する。

② 無電解銅の場合

- i) 膜厚 1 μm 以上あればその後の膜厚の差によるシールド効果への影響は少ない。
- ii) 無電解ニッケルと同じ膜厚で比較すると銅の方がシールド効果は大きい。
- iii) 100 MHzまではシールド効果は急増するが、その後の周波数の変化に対してもシールド効果は大きく変化しない。

次に磁界においては：

① 無電解ニッケルの場合

- i) 電界における場合と同様に、リン濃度に関係なく、膜厚が増すにつれてシールド効果は増大する。
- ii) リン濃度の少ない方がシールド効果は大きい。但し、リン濃度 8%と13%では、シールド効果はほとんど差は認められない。
- iii) 700 MHzまでは周波数が大きくなるにつれてシールド効果は増大し、その後、周波数の増大とともにシールド効果は徐々に減少し

ていく。

② 無電解銅の場合

- i) 無電解ニッケルと同じ膜厚で比較すると、銅の方がシールド効果はよい。
- ii) 600 MHzまでは周波数が大きくなるにつれてシールド効果は増大し、めっき厚の厚い方がその効果も大きい。その後の周波数帯においては、シールド効果はあまり膜厚による差は認められない。

また、パソコンなどの場合は、30～400 MHzの周波数帯のノイズを多く発生するといわれる。

図 2～9 のグラフの中から、100 MHz, 200 MHz, 300 MHz の各周波数帯におけるシールド効果を減衰率 dB 値でプロットし、表 4 に示した。

一般に、電界磁界ともに 30 dB ぐらいのシールド効果があればよいとされているので、一応これを基準に考えると、以上の測定結果から、

- ① 無電解ニッケルはリン濃度 2%のもので、厚さが 5 μm あればよい。
- ② 無電解銅の場合は厚さは 1 μm でよい。
- ③ さらに高いシールド効果を必要とするときには、めっき膜厚を増せばよい。
- などの結論が得られた。

表 4 周波数 100～300 MHz における無電解めっき皮膜の電磁波シールド効果

無電解めっき	厚さ	電界におけるシールド効果			磁界におけるシールド効果		
		100 MHz	200 MHz	300 MHz	100 MHz	200 MHz	300 MHz
Ni-P (2%)	1 μm	64	57	53	17	23	29
	3	68	60	57	22	30	35
	5	71	67	64	30	35	41
	10	72	72	68	31	39	44
	20	73	76	75	35	45	53
Ni-P (8%)	1	57	51	46	12	18	23
	3	65	57	54	18	25	31
	5	67	60	55	20	27	32
	10	70	63	59	24	31	36
	20	72	70	66	30	38	43
Ni-P (13%)	1	55	49	45	12	18	23
	3	63	56	53	17	25	30
	5	68	60	55	20	28	33
	10	70	66	61	28	35	41
	20	72	72	67	33	40	45
Cu	1	73	76	76	41	48	54
	3	73	77	78	52	59	65
	5	73	77	79	56	64	70

5. 無電解ニッケルによるシールドの
その他の特徴

4 に示した結果から（また、発表されているいくつかの報文からも）無電解銅の方がめっき膜厚は薄くてもシールド効果はニッケルよりもよいことがわかるが、いざ銅で実用するとなると、まず腐食が大きな問題である。その対策にめっき後に防錆のための塗装を行うとか、銅の上に無電解ニッケルをフラッシュめっきするなどの方法が一般にとられている。塗装する方法は、工程が2つになるため作業性とコストの点であまり思わしくなく、したがって、無電解ニッケルを重ねめっきする方法が推奨されている。しかし、これでも上層のNiめっきはフラッシュであるため、耐食性を十分カバーすることはできず、またこの組合

せめっき皮膜の耐磨耗性も大きな問題である。

図10に前記シールド効果の測定に供したのと同じ無電解銅及びニッケルめっき皮膜の耐磨耗性をテーバー式磨耗試験機で評価した結果を示す。図からわかるように、無電解銅の場合は耐磨耗性が非常に悪く、銅の上にニッケルをフラッシュめっきしても耐磨耗性は改善されない。それに比べてニッケルは耐磨耗性が銅及び銅+ニッケルの3倍も優れている。（特にP濃度2%のものはよい。）これは、表5に示すように、銅よりニッケルの方がはるかに硬度が高いためである。耐食性がニッケルの方が銅よりはるかによいことも併せて、筆者らは無電解銅より無電解ニッケルの方がシールド信頼性ははるかに高く、実用性が高いと判断している。

図 10 無電解めっき皮膜の耐磨耗性（テーバー式）

図 11 某社加工の無電解Cu (1 μm) + Ni (1 μm) 法による電界におけるシールド効果

表 5 無電解めっき皮膜の表面抵抗及び表面硬度

無電解めっき	表面抵抗 $m\Omega/sq$ *		表面硬度 H (0.025) **
	めっき厚 5 μm	めっき厚 20 μm	
Ni-P (2%)	150	60	650
" (8%)	400	140	500
" (13%)	370	133	500
Cu	5.1	1.4	240
Cu+Ni-P (2%, 1 μ)		1.4	250

* 表面抵抗の測定距離は25mmで行った。
** 表面硬度はめっき厚20 μでマイクロビッカース硬度計で測定した。

写真1 無電解ニッケル法（KEMシールド）による電磁波シールドの応用例
（左は裏面のめっき部分めっきの例で、右は表面もめっきする全体めっきの実用例である）

なお、某社でめっき加工した銅＋ニッケルの二重めっき法によるシールドサンプルについて、効果測定した結果を図11に示した。我々が作成したもの（図8）に比べてシールド効果が低く、カーブの描き方にも相違を生じているが、これは無電解銅めっきの結晶組織の違いによるものと思われる。

6. 無電解めっき法の将来性

前述したように、従来からEMIシールド法として実用されてきた代表的な方法である亜鉛溶射や導電性塗料にはいくつかの問題があるので、今後は無電解めっき法がその大きなシールド効果と高い信頼性の特長を生かして、大きく伸びるものと期待される。銅めっきあるいはニッケルめっきまたはこの組み合わせの3法がシールド要求性能に応じてそれぞれの普及の仕方をしていくだろう。中でも、高いシールド効果に加えて、耐食性や耐磨耗性等の信頼性もすぐれている無電解ニッケル（低温高速型）に対する期待が大きい。コスト的にも他のシールド方法に比べて十分競争力があるとみてよい。

写真1に、無電解ニッケル法によって現在我々が行っているEMIシールドの実用例を示す。

7. むすび

最近の電子機器の著しい伸びとともに、EMIシールドが大きな関心の的となっているが、いくつかあるシールド方法のうち無電解めっき法についてその特長を述べ、将来性を展望した。

パソコンをはじめとする非常に多くの電子機器のEMIシールド対策のひとつとして、この無電解めっき法が今後非常に有望であることを述べたEMIシールドの需要の増大に伴ない、本法がEMI対策の主流の座を占めるのがさらに早まるように思う。

参考文献

- 1) Krulik; Plating & Surface Finishing, 7月号, (1983)
- 2) 中山; プラスチックエイジ, 4月号, (1983)
- 3) ソフト技研; 電子機器のための新しいEMIシールド対策, (1983)