

—システムと施設の EMC—

Part 3: アセンブリにおける EMC テクニク

Eur Ing Keith Armstrong*, C.Eng MIEE MIEEE

翻訳: 佐藤智典**

これは、電気装置や機器の設計者も関心を持つであろう、システム・インテグレータや設置業者のための EMC テクニクに関する隔月の 6 個の論文のシリーズの 3 番目のものである。このシリーズで示されている素材は、主に私と Elmac Services の Tim Williams の共著の新しい本「EMC for Systems and Installations」[1] に基づいている。このシリーズは、主に、たとえ EMC 指令が存在していなかったとしても商業的に必要となるであろう、干渉を制御するための実践的な点を対象とする。[1] には含まれているものの、EMC の管理や法律の論点 (例えば EMC 指令への適合) はカバーしない。より詳しく知りたい場合には、この論文の最後に示した参考文献を読みたい。

これらの 6 個の論文でカバーするトピックは：

- 0. このシリーズの概要 — システムと施設の EMC に対する商業的な必要性
- 1. 接地？ どの接地？ (俗に「アース」や「グラウンド」と呼ばれているものと EMC との関係)
- 2. 施設のための EMC テクニク
- 3. アセンブリにおける EMC テクニク
- 4. 施設におけるフィルタリングとシールドリング
- 5. 雷とサージ防護
- 6. CE + CE CE! その代わりに行なうこと

これらの EMC テクニクは大半の地上系のシステムや施設に適用されるが、このシリーズの最初の論文で既に述べたように、乗物を含む特殊なある種のシステムや施設はいくつかの異なった、あるいは追加のテクニクを用いるかも知れない。このシリーズのテクニクのいくつかは、規定された、あるいは伝統的なプラクティスと矛盾するかも知れないが、これら全ては、執筆の時点において、十分に証明された、国際的に標準化された現代的なベスト・プラクティスであり、プロの技術者はその仕事に常

に最良の知識とプラクティスを適用する明白な (職業的な、倫理的な、そして法的な) 義務を持つ。

安全性は常に至上であり、EMC の達成を助けることを意図したいかなるテクニクによっても損なわれてはならないことを忘れないこと。これは、EMC の決定に際して資格のある安全性専門家の関与を必要とするかも知れない。

EMC 指令に適合することは、多数の安全規制 (機械指令のような) によって要求されているような機能的安全性の達成のための充分な EMC 作業ではないことに注意すること。電子デバイスの誤動作が機能的安全性リスクを増加させ得る場合 (例えば全てのロボットや、ある種の機械やプロセス制御) には EMC は安全性の論点として分類しなければならず、単に EMC 指令や対応する整合 EMC 規格に適合することは充分ではないかも知れない。このトピックはこの論文のシリーズでは特にカバーされないが、EMC と機能的安全性に関する IEE Professional Guidance の出版から遅れ過ぎることなくこのジャーナルがレポートすることが期待される。

第 3 部の目次

- 3.1 広範囲の応用
- 3.2 CE マーキングされた電子機器に頼らない
- 3.3 背景となる物理学
- 3.4 企業内でのコミュニケーション
- 3.5 良い EMC プラクティスに従う
- 3.6 局所 RF 基準の作成
- 3.7 RF 性能の最適化のための接続手段
 - 3.7.1 保護接続 (安全) 導体の接続
 - 3.7.2 局所 RF 基準に接続するための高いワイヤや網組ストラップ
 - 3.7.3 金属ボディと局所 RF 基準の接続
 - 3.7.4 局所 RF 基準の保護接続導体としての使用

* Cherry Clough Consultants, Associate of EMC-UK

** URL: <http://member.nifty.ne.jp/tsato/>

- 3.7.5 遮蔽ケーブルとシールド・コネクタの接続
 - 3.7.6 局所 RF 基準との接続
 - 3.7.7 ピッグテール
- 3.8 ケーブル遮蔽の両端での接続
 - 3.8.1 ケーブル遮蔽を信号還流に使わない
- 3.9 フィルタとその取り付け
- 3.10 エンクロージャのシールド
 - 3.10.1 シールド・エンクロージャに入る遮蔽ケーブル
 - 3.10.2 シールド・エンクロージャに入る遮蔽なしケーブル
 - 3.10.3 隔離されたキャビネット
 - 3.10.4 扉、取り外し可能なパネル、表示、そして換気
 - 3.10.5 シールド・エンクロージャの相互接続
- 3.11 コネクタ・パネル
- 3.12 ケーブル・クラスと隔離
 - 3.12.1 コンピュータ技術を用いたデバイスからのケーブル
 - 3.12.2 近傍に RF 送信器がある場合の外部ケーブルの分類
- 3.13 製品内部の配置
- 3.14 参考文献

3.1 広範囲の応用

この論文（そしてこのシリーズ）は、技術的なポイントを示すために工業用の制御や計装の例を用いる傾向がある。しかし、その物理的な法則（すなわち EMC）は工業制御に対するものと全く同様に全ての電気や電子応用に適用できる。その機能や用途に関わらず、アンペアは依然としてアンペア、マイクロボルトは依然としてマイクロボルト、MHz は依然として MHz である。私がこれらの論文を書き、例示した方法が、電気や電子のアセンブリの設計や組み立てに際してのそれらのテクニックの適用を容易にすることを期待する。

3.2 CE マーキングされた電子機器に頼らない

あなたの製品を組み立てるために、CE マークの付けられたコンポーネントの使用のみに頼らないこ

と。CE + CE = CE アプローチは EMC や法的なコミュニティで良く知られた問題を含んでおり、他の製造業者から供給された CE マークの付けられた電子機器から構成された製品が試験された際に対応する整合 EMC 規格に実際に適合することは、経験上非常に稀であることがわかっている。このシリーズの第 6 部はこの詳細により深く踏み込み、一部の製造業者がその製品に CE マーキングする際に用いているトリックの多くをいかにして見付けるかを示し、また優れた EMC 適合性を持つコンポーネントを用いたとしても EMC を損なうことがある落とし穴を警告する。

3.3 背景となる物理学

このシリーズは実践的な秘訣とテクニックに焦点を当て、それらが何故働くのかを解説しようとはしない。このアプローチは普通でないアプローチがより良い結果を与えるような特殊な状況に対して技術者が免疫を持たないままとするが、雑誌の記事の形式はその基礎をカバーできるだけである。従って、この論文の最後にある参考文献を読み、必要であればさらにその参考文献を読むことを推奨する。しかし、これらの EMC テクニックが何故必要であるかの理由のごく一部をここで示しておく：

- ケーブルやワイヤは良いアンテナとなり、それが運ぶ信号をその環境に漏洩させる（エミッション）。
- ケーブルやワイヤはその環境の電磁的妨害をピックアップし、それが運ぶ信号を汚染する（イミュニティ）。
- ワイヤ（緑／黄の絶縁を持つものでさえも）は安全接続のためには許容できるかも知れないが、数 MHz 以上の無線周波数（通常はそれよりも大幅に低くても）においては有効な「接地」基準を与えることはできない。
- 「接地」と呼ばれる構造の大半はその寸法や構成に関係するある周波数よりも上では有効でなくなる。
- 現代的な電子機器、特にデジタルやスイッチ・モードのものは、典型的には少なくとも VHF 放送帯域に達する、広帯域の周波数成分を含む。このような高周波においては、ほとんど全ての現実的な長さのワイヤやケーブルは伝送線路として振舞い、電源やオーディオの周波数で育った技術者にとっては直観的ではないものとなり得る、クロス・トーク、エミッション、あるいはイミュニティの問題を生ずる。

お分かりのように、これらの理由の大半はワイヤ、ケーブル、そして「接地」が関係するものである。「接地」という単語の使用による問題はこのシリーズの第1部（「接地？ どの接地？」）で議論したので、このシリーズではより正確な用語を使うつもりである：例えば、支持シャーシ、遮蔽エンクロージャ、保護接続導体、共通接続ネットワーク (CBN)、あるいは雷防護システム接地電極。

残念ながら、可能な代替の長いリストを避けるために、局所無線周波 (RF) 基準、あるいは「RF コモン」を参照する一般的な用語を必要とする— これは、大抵は電子製品のシャーシ、多数のプリント回路板やモジュールやユニットを支持するシャーシ、あるいは製品のエンクロージャの金属の壁である。そのような金属構造はしばしば保護導体に接続されるものの、(多くの人は誤解を引き起こす可能性がある単語「接地」を期待するかも知れないが) 私は「局所 RF 基準」という用語を使用し、これが上記の金属構造の安全上と EMC の機能の混同の回避を助けることを期待する。

3.4 企業内でのコミュニケーション

多くの企業は、その設計者の意図を組み立て要員の理解に移すことに関する問題を持っている。ケーブルの長さや引き回し、あるいはコンポーネントの配置の一見小さな違いが大きな違いを生じることがある EMC よりも明白なものはない。継続的な製造においては組み立てられたものと設計されたものとを比較して相違点を見つけ出す時間が (望むらくは) 許されるものの、企業が利益を最大にして成功をおさめたいのであれば、カスタム工学設計は最初の試みで誤りなく製品とシステムに移されることが必要である。従って、時間と費用を節約するために、設計者が選択した EMC 組み立てテクニックを組み立て要員に伝える方法を企業が見付けることが重要である。

3.5 良い EMC プラクティスに従う

電気 / 電子アセンブリの組み立てにおける良い EMC プラクティスは少なくとも 10 年間は知られており、普通に用いられる周波数の上昇に従って継続的に発展している。参考文献 [2] ~ [5] を含む関連規格やパブリック・ドメインの文書、そして [6] ~ [9] のような工業用コンポーネントを販売している企業によって作られた良いプラクティスのための多数のガイドが存在している。

良い EMC プラクティスはしばしば伝統的なプラクティスとは異なっており、ある種の長い歴史を持つ産業においては、EMC や現代的なテクニックを

学ぶことに対する抵抗のため、設計によってではなく現場で EMC 問題を解決するために、依然として多額の金と時間が無駄に費されている。しばしば、その現場での問題が EMC に関係するものであると認識されないことさえあるように見受けられる。

良い EMC プラクティスの一部は、使用する電子ユニットの製造業者らによって用意された EMC インストラクションに従うことである— しかし、それが合理的で、このシリーズで書かれたものと、あるいは互いに矛盾しない場合だけである。製造業者らのインストラクションに相違、あるいは矛盾がある場合には、EMC の専門知識が必要となる。例えば、一部のコンポーネント製造業者は、依然として遮蔽ケーブルの遮蔽を片端のみで「接地」(局所 RF 基準を意味する) に接続すべきであると規定している。これが依然として許容できることもあるものの、それが製品を EMC 試験に合格させる例は今では非常に少ない。そのようなインストラクションは、EMC 試験を行なったことがない、あるいは現実的でないセットアップを用いて試験を行なっているが、それがベスト・プラクティスであると信じており、従ってそのマニュアルに盲目的に繰り返すような企業によって書かれていることがある。

しかし、賢明な製造業者は、良好な無線周波 (RF) 性能のために遮蔽ケーブルを必要としないようにその製品の低周波入出力をフィルタしているかも知れず、その場合にはそのケーブルが 2 つの遮蔽エンクロージャを相互接続しない限りはケーブル遮蔽を片端のみで接続することは許容できるかも知れない。このトピックに関するより詳細な点については、(このシリーズの第2部の) 2.5 章、2.5.3 章、及び下の 3.8 章を参照されたい。

一般に、設計と組み立てにおける良い EMC 手順は次のものを必要とする：

- 意図した動作環境の電磁妨害 (新しい製品に対する脅威) を調査する
- 意図した動作状況の、新しい製品が放射する電磁妨害を受ける可能性がある他の電子製品の感受性 (新しい製品からの脅威) を調査する
- 上の手順から導かれる仕様に適合するために必要な EMC 性能を持つことがわかっている電子機器を選択する
- それらの電子機器の製造業者の合理的な EMC インストラクションに従う
- 全ての箇所で、以下 (そしてこのシリーズの他の箇所) で解説する EMC テクニックを使う

上のものに関するより多くの情報は参考文献 [10] に見られ、その題名にも関わらず、それは全ての種類のシステムや施設と其中で用いられる製品との一般的な関係を説明している。

3.6 局所 RF 基準の作成

数 MHz 以上の周波数においては、金属の連続な面や塊のみが、しかもその境界の中に留まっているケーブルや電子機器のためにのみ、信頼できる局所 RF 基準を達成することができる。金属板が局所 RF 基準として用いられる場合、ケーブルや電子機器は常にその面に近く保つべきである。親指の法則として、その金属板からの高さは関係する最大の周波数の波長の $1/10$ よりも小さいべきである (例えば、小型無線機の典型的な送信周波数である 200MHz においては 75mm よりも近く)。

金属のシャーシ (理想的には継目や開口がないもの)、金属のキャビネット、あるいは金属のエンクロージャが用いられる場合、その壁面、背面、上面、下面、あるいは扉を局所 RF 基準として用いることができる。工業用キャビネットは、しばしば電気、電子、そしてその他のユニットを金属のバックプレートに、またプラグ・イン・モジュールやプリント板をフレームやケ・ジに取り付ける。電子機器に最も近いバックプレートやカード・ケ・ジなどのような金属の支持構造は、常にその局所 RF 基準の一部を形成し、近傍の他の金属構造に複数の接続を持つべきである。スター接続点への緑 / 黄のワイヤは通常は数百 kHz 以上の周波数で RF 基準 (「接地」) を与えるためには効果的ではなく、電子ユニット (低周波アナログ処理などの) が RF 周波数を使用、ないしは放射しない場合であっても、その製造業者が多大な注意を払っていない限り、それはその環境に存在するどのような RF (そして今日では多くのものがある) をも無邪気に復調するであろう。従って、アナログ電子機器でさえも、EMC のための組み立てテクニックを必要とする。計装などの全ての低周波アナログ信号処理を含む、オーディオ電子機器の RF 感受性については、[11] を参照されたい。

金属構造を局所 RF 基準として用いることは、それが丈夫な耐蝕性の導電性コーティングで仕上げられているならば最も容易である。これは、金属面と金属面での接続のみが、今日普通に用いられている最も高い周波数において効果的に働く可能性があるためである。非導電性塗装、プラスチック・コーティング、あるいは陽極酸化処理は、いずれも接続のインダクタンスを増加させ、高周波における効果を下げる。塗装やプラスチック・コーティングされた面を接続する場合には、高周波で良好な接続を達成し (大抵は塗装やプラスチックの部分的な除去を伴う)、また保護コーティングが取り除かれたことから発生する可能性がある腐食を防止するために、注意を払わなければならない。

バックプレートが取り付けられた工業用キャビネットにおいては、RF 接続と EMC を助けるために、

ここ数年はほとんど全てのキャビネット製造業者で亜鉛滅金されたバックプレートが標準となっている。厚い亜鉛や錫の滅金は軟鉄のための最良の導電性仕上げであるが、追加のパッシベーション層とともに薄い滅金が用いられることがある。残念ながら、パッシベーションは薄いプラスチック・コーティングそのものであり、RF 接続性を損なうことがある。私は「黄色」パッシベーションが電子機器の組み立てに普通に用いられているナットやボルトのような金属部品からの適度な圧力によって容易に傷付けられることは理解しているが、依然として厚い滅金を用い、パッシベーションを用いないことを推奨する。

3.7 RF 性能の最適化のための接続手段

3.7.1 保護接続 (安全) 導体の接続

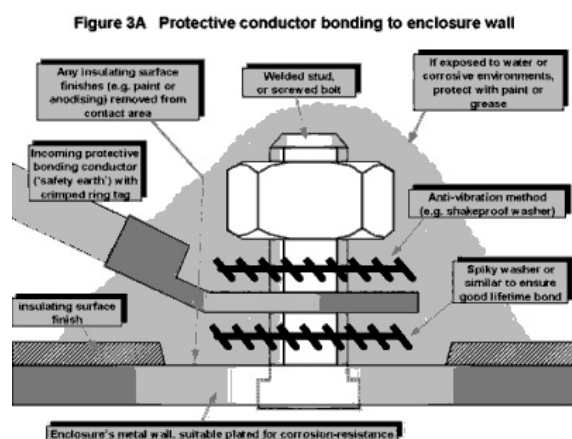


Figure 3A は、導入された保護導体 (しばしば保護接地、あるいは安全接地と呼ばれる、主電源ケーブル内の緑や緑 / 黄の導体) の、エンクロージャの壁面への接続を示す。これは主に安全を目的としたものである (これがそれを外部の金属構造に接続する理由である) が、エンクロージャ内で露出される保護導体の長さを 150mm 以下とすることは最良の EMC 性能の達成を助ける。それを金属エンクロージャの外側に接続することが最良であろうが、安全上の理由からそれは主電源端子の近くにある必要がある。その接続端子は、ねじ止めとすることもできるものの、エンクロージャの側面や背面に溶接されていることが望ましい。安全上の理由から最良の種類の溶接スタッドは、もしその溶接が駄目になったとしても抜け落ちずにその場に留まるように、エンクロージャに反対の面から貫通したものである。

工業用キャビネットにおいては、安全規格 EN 60204-1 は端子ごとの保護導体が 1 つよりも多くないことを要求している (かなり無視されているように見受けられ、多くの工業用キャビネットを安全規制に不適合としている要求である)。バック

プレートと保護導体を接続するためには、導入された「安全接地」端子の近く (加えてその 2 つの間の金属の断面積が充分にあること) に溶接、あるいはねじ止めされた、独立したスタッド端子を必要とする。一部の制御盤製造者はその代わりに「安全接地」スター接続点としてエンクロージャの壁面に確実に接続されたソリッドな金属の端子ブロックを用いている。

扉や取り外し可能なパネルは、エンクロージャの最も近い壁に対する、専用のスタッドと短い幅広のストラップや網組導体を用いた保護接続を持つべきである。一般に、ストラップや網組導体の長さが短くなれば、金属エンクロージャがある程度のシールドの利点を与える周波数も高くなる。エンクロージャの最長の寸法が波長の $1/10$ を超える周波数 (必要とされる遮蔽効果に依存するが) においては、それがどれだけ短いかに関わらずそのようなストラップや網組導体の EMC での利点は少なく、その代わりに扉や取り外し可能なパネルの周囲に導電性ガスケットを用いたシールド・エンクロージャ (3.10 章を参照) が必要となるかも知れない。

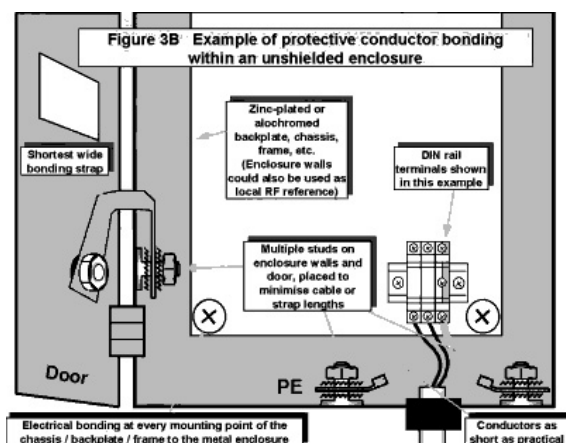


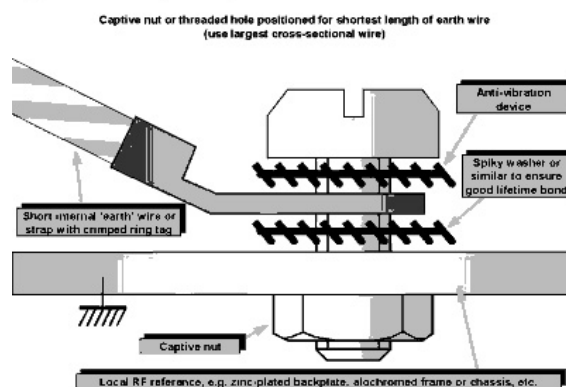
Figure 3B はバックプレートが取り付けられた典型的な工業用キャビネットにおける保護接続の例である。より大きな局所 RF 基準面を作り、基本的なエンクロージャで可能なシールドの利点を得るために、バックプレートはその金属キャビネットと全ての固定点で電気的に接続すべきである。

3.7.2 局所 RF 基準に接続するための短いワイヤや網組ストラップ

この組み立て手法は Figure 3C に示されており、上の 3.7.1 章のものと良く似ている。これは、内部保護導体、遮蔽ケーブルのピグテール (3.7.7 章を見ること)、そしてその他の「接地」ワイヤを局所 RF 基準に接続する際に用いられる。

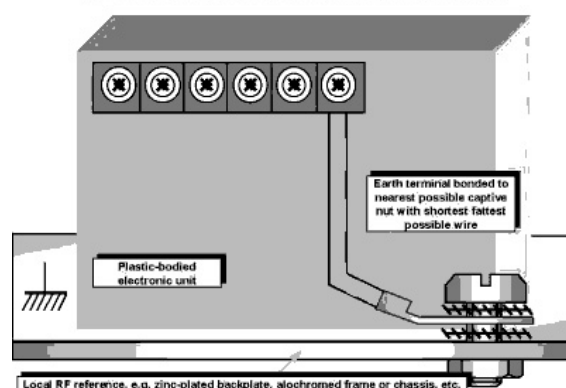
しばしば圧入ナット (captive nut) やねじの切られた穴が用いられ、ナットとボルトよりも組み立てを

Figure 3C Bonding internal protective conductors and other 'earth' wires



容易にする。下穴とタッピングねじが用いられる場合があるが、その接続が何らかの安全の目的を持つものであるならばそれが許容できるかどうかを確認すること。接続点は、使用されるワイヤや網組導体の長さが最短となるように位置すべきである。そうしてさえも、[4] のグラフのいくつかで示されているように、数 MHz 以上の周波数では数インチのワイヤや網組導体でさえも完全に効果がなくなることがある。

Figure 3D Bonding the 'earth' wire of a plastic electronic unit (where the local RF reference is acceptable as a protective conductor)



プラスチック・ボディの電子ユニットにおいては、Figure 3D でスケッチするように、その保護導体端子は局所 RF 基準上の可能な最も近い点に最大の断面積の最短のワイヤで接続すべきである。

3.7.3 金属ボディと局所 RF 基準の接続

金属面と金属面の直接の接続は高周波における最良の性能を与え、Figure 3E と 3F に示すように、いかなる電子ユニットの全ての金属固定部の局所 RF 基準への接続のためにもこれを用いるべきである。

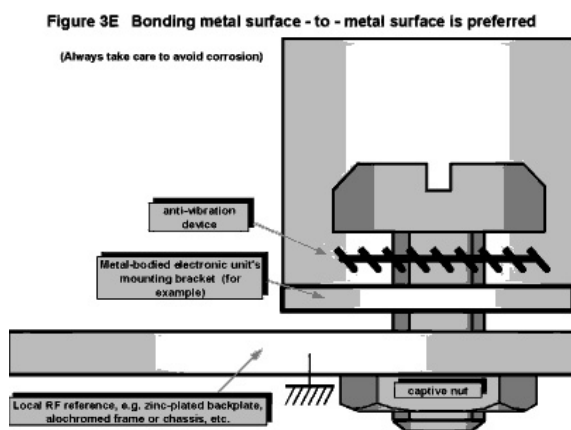
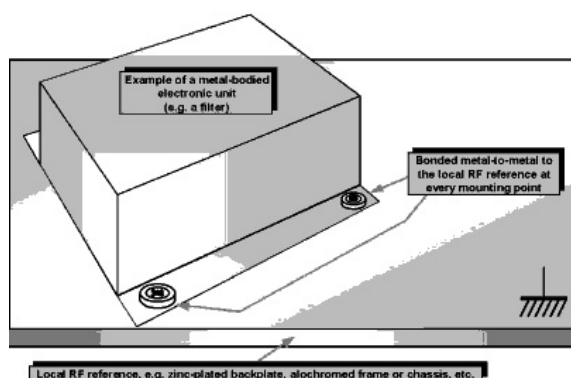


Figure 3F Example of bonding a metal-bodied unit



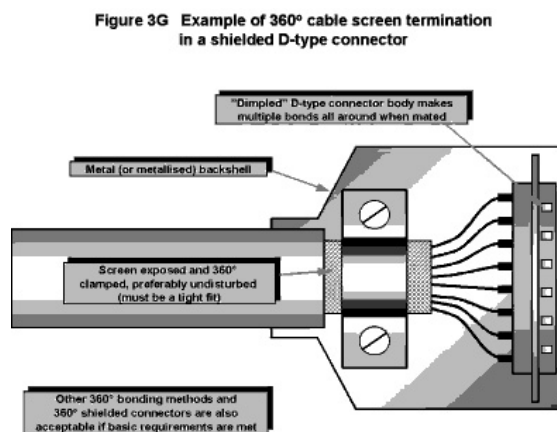
3.7.4 局所 RF 基準の保護接続導体としての使用

しばしば、「安全接地」スター接続点へと製品の周囲を這い回る多数の緑／黄のワイヤを置き換えるために局所 RF 基準を用いることが可能である。これが対応する安全規格によって許されている場合（大抵はその金属構造の実効断面積や、接続手段の耐振動性に依存する）、それは組み立ての時間を節約し、またケーブルの束線や引き回しのスペースも節約する。その結果は、最良の RF 性能を合わせ持つ保護接続ネットワークとなり得る。（このシリーズの第 2 部の、建物の接続ネットワークの MESH-CBN への進化と比較されたい。）

局所 RF 基準を安全の目的で用いることができない場合、RF 基準システムと保護導体システムが並行して存在することとなり、多くの「接地ループ」を生じる。このシリーズの第 2 部の 2.4 章で見たように、それが多数の小さいループであって 1 個や 2 個の大きなものでないならば、ループは信号、EMC、そして安全性のために良いものである。

3.7.5 遮蔽ケーブルとシールド・コネクタの接続

シールド・コネクタは、それが差し込まれる電子ユニットによって与えられる局所 RF 基準に接続される。それは、しばしばその PCB の基準プレーン、



あるいは金属やメタライズされたプラスチックの「ファラデー・ケージ」エンクロージャとなる。ケーブルの遮蔽のコネクタとの接続の手法は非常に重要である。Figure 3G は、ケーブル遮蔽が露出させられ、金属の鞍型クランプ固定具によって 360°（全周）でクランプされた D 型コネクタを示している。

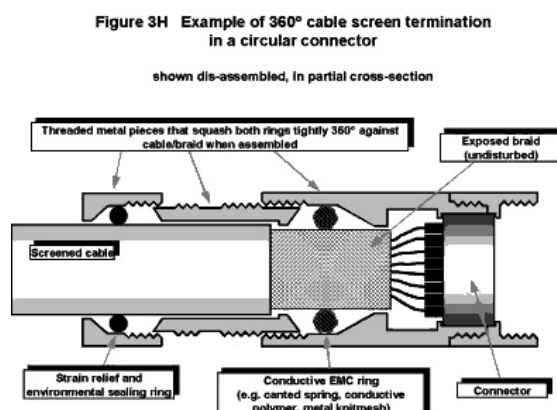


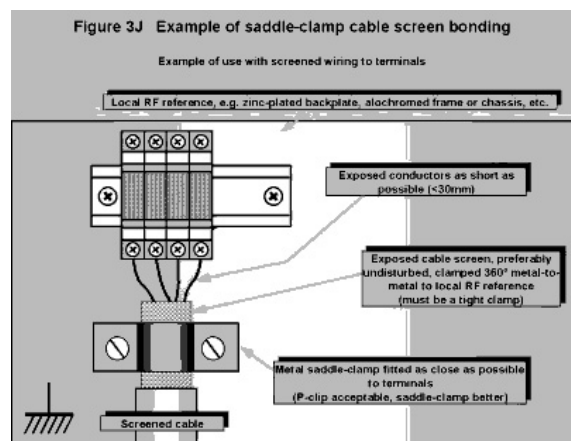
Figure 3H は、ケーブル遮蔽とコネクタ本体の間のさらに良いスタイルの 360° 接続を達成する、丸型（軍用スタイル）コネクタの断面を示す。

他にも多くの種類のコネクタやシールド終端手法が存在しているが、ケーブル遮蔽、コネクタのバックシェル、そして嵌合するコネクタのバックシェル（あるいは嵌合するコネクタの取り付けパネル）の間の 360° の電気的な接続を与えるもののみが RF で良好に働く。ケーブル遮蔽の金属箔や網組を乱し、あるいはそれをワイヤによって延長するようないかなるコネクタ接続テクニックも、そのケーブル、及び／もしくはコネクタの遮蔽性能を損なうであろう。

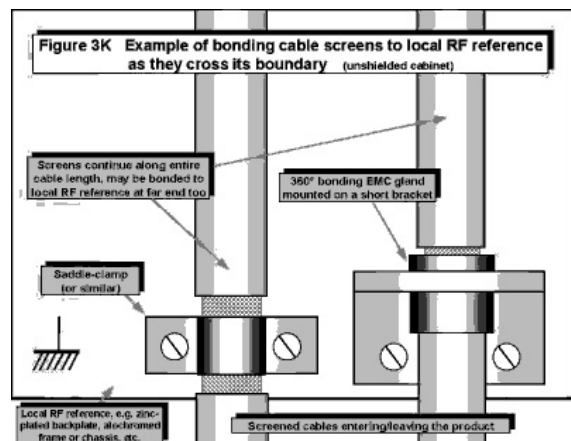
D 型コネクタのように、コネクタが単一のケーブル・クランプのみを持つ場合、乱されていないケーブル遮蔽をクランプすることはケーブルの外部被覆がクランプされないことを意味するかも知れない——これは外部からの張力に対する潜在的な問題

となる。そのような状況で、最高の EMC 性能が必要でない場合には、遮蔽と被覆を同時にクランプできるように遮蔽を外部被覆の上に折り返すのが普通である。

3.7.6 局所 RF 基準との接続



遮蔽ケーブルがその両端や継目にシールド・コネクタを伴わない場合、その露出した内部導体は容易に RF 性能を損ない得る。Figure 3J は、最小限の長さの信号導体のみが露出されるようにその端子のできる限り近くでケーブル遮蔽をその局所 RF 基準に終端するために、どのように鞍型クランプを使うかを示す。内部導体の露出されている部分は、同一の長さで、互いに近づけて、できる限り短くすべきである。Figure 3J では DIN レール端子が示されているが、それはねじ止めや半田付けの端子、あるいは電子ユニット上のプラスチックのボディのコネクタであっても良い。ケーブル遮蔽のための最良の局所 RF 基準はそのケーブルが差し込まれる電子ユニットの金属の（あるいはメタライズされた）本体であるが、それが不可能であればその代わりに最も近くの局所 RF 基準を用いるべきである。



ケーブル遮蔽をその両端や継目で局所 RF 基準に接続するのと同様に、他の遮蔽接続も必要である。

シールド・エンクロージャの RF シールド効果を完全に損なわないためにはケーブル遮蔽をそのシールド・エンクロージャの壁にどのように 360° 接続しなければならないかを後で見るであろう。しかし、シールド・エンクロージャが用いられない場合であっても、存在している構造から最良の RF 性能を得ることは依然として意義があり、これは Figure 3K に示すように全てのケーブル遮蔽をそれが局所 RF 基準の境界を最初に横切る際に接続することを必要とする。

その単純さと使い易さにも関わらず、僅かな EMC コンポーネント製造業者のみが鞍型クランプを作っており、設計者はしばしば適当な部品を見付けるためにディストリビュータのカatalogの配管、空圧、あるいは水圧のページを見なければならない。鞍型クランプの多数の代替品が入手可能であり、創造的な設計者は彼のキャビネットの組み立てを容易にするために問題なく新しい構成を作ることができるであろう。P クリップはしばしば受け入れ可能であるが、その単一の接続が高いインダクタンスをもたらすため、その RF 性能は鞍型クランプ程良くはない。

今は、局所 RF 基準からの短いブラケット (Figure 3K を見よ) に取り付けることも、実際にその中に (それを貫通して) 取り付けることもできる遮蔽終端ケーブル・グラウンドを、多数のコネクタ製造業者が提供している。乱されていないケーブル遮蔽の全周で均一な圧力で接続するタイプのもの (例えば、iris スプリングや knitmesh ガasket) は、通常は最良の RF 性能を与える。

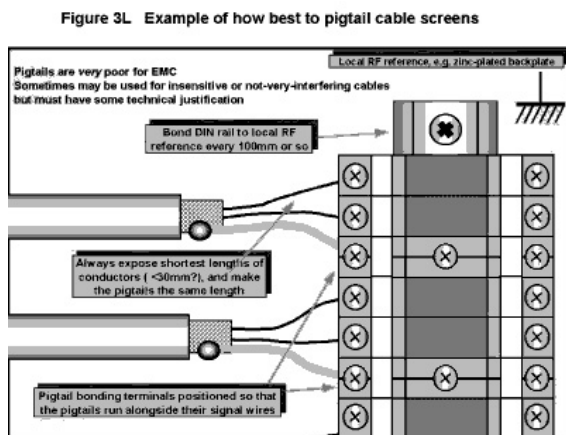
エンクロージャや端子システムの製造業者の一部は独自のケーブル遮蔽接続デバイスを販売している。それがケーブル遮蔽と局所 RF 基準の直接の 360° (全周) 接続を与える限り、それは良い性能を与えるであろう。しかし、注意すること— これらの一部はケーブルの遮蔽をある程度のインダクタンスを持つ金属のバーに取り付け、大抵はそれを局所 RF 基準にワイヤで接続する— さらに大きなインダクタンスを加える。

遮蔽接続を局所 RF 基準から数十 mm 上で行なう必要がある場合には、ケーブル遮蔽を鞍型クランプ、P クリップ、ホース・クリップ、ステンレスのケーブル止め、あるいはその他の 360° 手段によって終端できるようにその上面が形成された、RF 基準に複数の点で接続される幅広の金属のブラケットが用いられるかも知れない。この金属ブラケットはインダクタンスを加え、高周波では悪影響を持つものの、遮蔽のピグテール接続よりも何桁も良い。

全てのケーブル遮蔽接続手段はケーブル遮蔽の周囲全体に密着すべき (しかしケーブルを潰すことな

く)であり、この密着は経時、摩耗、あるいは損傷によって緩んではならない。それを 360° 接続する際にケーブル遮蔽を乱さないことが常に最良であるが、低いシールド性能が許容できる場合にはやや緩い較型クランプやコネクタのバックシェルの遮蔽クランプに密着させるためにより長い網組遮蔽を「捲り上げる」ことができる。金属箔遮蔽ケーブルにおいては、同様の状況において、乱されていない金属箔の上にそのドレイン・ワイヤを何回か巻き付けることができる。

3.7.7 ピッグテール



この最後の接続手段は、ケーブル遮蔽のワイヤ接続、しばしば「ピッグテール」と呼ばれるものを用いたものであり、Figure 3L に DIN レール端子の例を用いて示してある。同様の方法を電子ユニットの端子で用いることもできる。

ピッグテール接続されたケーブル遮蔽は EMC のためには非常に劣悪なものであり、従って感受性が低い、あるいは干渉性がそれほど高くない信号のためにのみ用いるべきである。ピッグテールから最良の性能を得るためには、露出した内部導体とピッグテールはできる限り短く（例えば 30mm 程度）し、ピッグテール接続端子を信号端子に混ぜることによってそれら全てを一緒のままとする。

DIN レール端子をピッグテールを局所 RF 基準に接続するために用いる場合には、金属の DIN レール自身がその両端とその全長にわたる他の箇所（望ましくは 100mm 程度ごとに）でバックプレートに直接接続されるべきである（Figure 3E を見よ）。

3.8 ケーブル遮蔽の両端での接続

一般に、ケーブル遮蔽はその両端で局所 RF 基準に接続されるべきである。これは、片端のみで接続

された遮蔽ケーブルは、その長さが波長の数分の 1 となる周波数までにおいてのみ良いシールド性能を与えられるためである。より高いシールドが要求されるならば、波長に対する比率は小さくなる。この親指の法則の値をいくつか示す：20dB 程度のシールドのためには、ケーブル長は波長の 1/20 よりも小さいべきである。現場用小型無線機の典型的な周波数である 200MHz においては、空気中での波長は 1.5m であり、その 1/20 は 75mm である。これは、200MHz までで少なくとも 20dB のシールド効率を維持する（近傍の 200MHz の小型無線機による干渉の防止を助けるために）ためには、遮蔽ケーブルの長さが 75mm を超える場合には両端で接続すべきであることを意味する。

勿論、このように単純なものではなく、大半の種類の遮蔽ケーブルは 200MHz ではそのシールド効果を失うであろう。網組遮蔽ケーブルは一般に横巻金属箔のものよりも良いシールド性能を与え、360° 取り付けによる終端がより容易である。より良い網組遮蔽ケーブルは一般に良い光学的網組網羅率を持っており、より高い周波数までより良い性能を与えるために二重の網組、あるいは網組と金属箔が用いられることもある。他のどの種類の遮蔽ケーブルとも異なり、（高価な）「超遮蔽」ケーブルのシールド効率は周波数の上昇に伴って向上し続ける。

遮蔽ケーブルは特定の方向の磁界に対してはシールドを全く与えられない。磁界からのシールドには電流が遮蔽中をその一端から他の端に流れることを必要とし、これは遮蔽が片端でのみ接続されている場合には起こり得ない。

両端の機器の「接地」のあいだに相当の電位差がある場合、外部ケーブルの遮蔽の両端での接地は遮蔽に高レベルの電流が流れるようにすることがある。これは製品の内部組み立てではなく施設における問題であり、これはメッシュ接続された共通接続ネットワーク（MESH-CBN）や並行接地導体（PEC）の概念を導入したこのシリーズの第 2 部の 2.5 章～2.7 章である程度詳細に扱っており、これらはいずれも [1] や [2] でより詳細に解説されている。

ケーブル遮蔽の両端での接続の必要は、製品の組み立てに若干の関係を持つ。

- 局所 RF 基準面（あるいは空間）を作り、全てのケーブルや電子回路をそれに近く（あるいはその中に）保つ。
- たとえそれが内部でも同一の基準に接続される可能性があるとしても、外部ケーブルの遮蔽をそれが局所 RF 基準の境界を横切ってすぐにそれに接続する（上の 3.7.6 章や Figure 3K を参照）。

- 外部 PEC (例えばワイヤ、ダクト、保護外装、トレイなど) の接続のために適切な固定方法を用意する。

もし、何らかの理由で両端での遮蔽接続が不可能であるならば、ケーブル遮蔽の一端から局所 RF 基準への直接の接続の代わりに、短いリードのセラミック・コンデンサによる接続を受け入れられることがわかるかも知れない。残念ながら、この手段は現代的な電子機器で用いられる高周波で、あるいは広範囲の周波数で良好に動作させることが難しく、従ってこの手段は特殊な状況のために取っておくことが最良である。

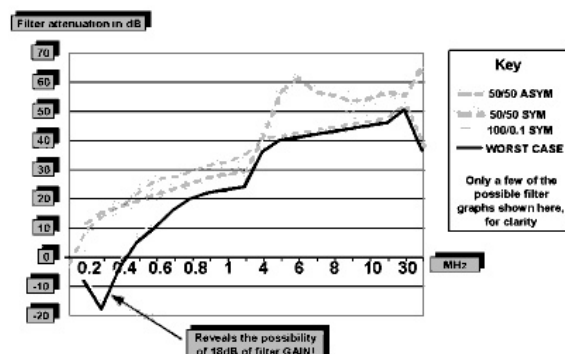
あるアセンブリが両端でのケーブル遮蔽接続を与えている場合、現場でその接続の一方をコンデンサで置き換えることはそれほど難しくはなく、また接続を完全に除去することは非常に容易である。しかし、もしそのアセンブリが一端でのみの遮蔽接続で設計されているならば、現場での問題を解決するためにもう一方の端にコンデンサを取り付け、あるいは 360° 接続を行なうことは、非常に困難な、時間を要するものとなり得る。

3.8.1 ケーブル遮蔽を信号還流に使わない

可能であれば、決してケーブルの遮蔽を信号還流に使用しないこと。常に、ツイスト・ペアや 3 つ撚り、あるいは所定の信号のための全ての送出電流と還流電流の経路の全てを完全に含む任意の個数の導体を用いる。このシリーズの第 2 部の 2.3 章はこの点をより詳細に示している。

3.9 フィルタとその取り付け

Figure 3M Deriving worst-case filter attenuation figures from manufacturer's data



フィルタの選択に際しては、どの周波数における減衰率も、コモン・モードと差動モード (非対称と対称) の双方に対する、整合した $50\Omega / 50\Omega$ 、 $100\Omega / 0.1\Omega$ 、及び $0.1\Omega / 100\Omega$ 性能のデータ全てが

ら導出されたワースト・ケースよりも良くないと仮定することが最も安全である。 $50\Omega / 50\Omega$ 減衰率カーブのみを用いることは、不要な周波数を減衰させる代わりに増幅する結果ともなり得る。良いフィルタ製造業者は上のデータ全てをグラフとして提供するであろう。Figure 3M は、フィルタのワースト・ケース性能 (期待することのできる性能) を見付けるためにこれをどのように使うかを示している。

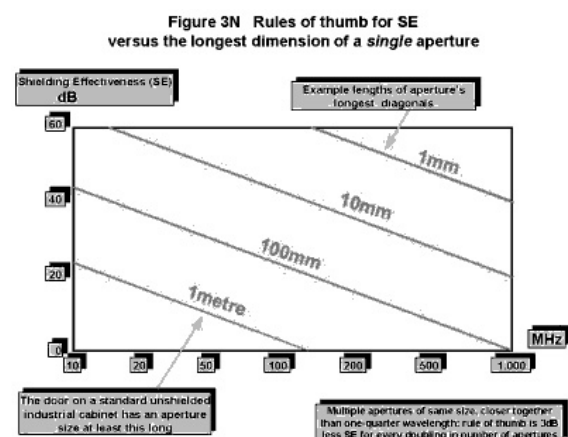
最良のフィルタは継目の無い金属の本体を持ち、これは (Figure 3E と 3F に示すようにその全ての固定点で局所 RF 基準への金属と金属の接続を行わなければならない。製品内の電子回路の外部電磁妨害からの保護を助けるためには、外部ケーブルに取り付けられたフィルタはケーブルが最初に局所 RF 基準の境界を横切る点に取り付けるべきである。シールド・エンクロージャを用いていない製品の内部のノイジーな電子ユニットからのエミッションの低減を助けるためには、フィルタは関係する電子回路のできる限り近くで局所 RF 基準に取り付けるべきである。フィルタが外部妨害の干渉の低減とエミッションの低減のために用いられている場合、そのシールドされていないエンクロージャ内での位置は難しい妥協となることがある。シールド・エンクロージャ内でのフィルタの配置については以下の 3.10 章、特に Figure 3R を参照されたい。

導入される主電源に取り付けられたフィルタは、エンクロージャ内に入る外部主電源ケーブルの長さが最小となるように、望ましくは工業用キャビネットにおいては 150mm 未満となるように配置されるべきである。より小さい製品は、可能な場合には、ポピュラーな IEC320 プラグ・インレット型のもののような、外部主電源ワイヤが全くエンクロージャを貫通しない、隔壁取り付け型の主電源フィルタを用いるべきである。ON/OFF スイッチ (あるいは工業用キャビネットのドア・アイソレータ) の前に取り付けられた主電源フィルタは、その製品の電源スイッチが切られた時にもライブなままとなり、従ってその端子に対する接触防止や適切な安全警告が与えられなければならない (適切な安全規格でチェックすること)。

フィルタの入力と出力のワイヤは決して近付いてはならず、常にケーブル・クラス 1 つ分は離さなければならない (3.12 章を見よ)。直列にされたフィルタは影響し合い、全体としての EMC 性能をそれぞれのフィルタ自身のものよりも悪くすることがある。製品で用いられるフィルタについてのより詳しいことは、[1] の Chapter 8、[12]、及び [13] を参照されたい。このシリーズの第 4 部では施設のレベルで用いられるフィルタを扱う。

3.10 エンクロージャのシールド

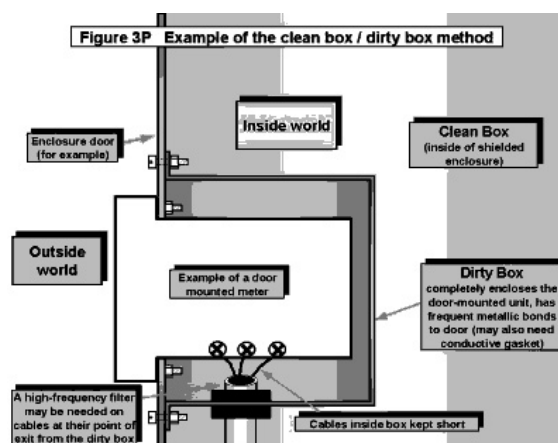
上の全ては金属のシャーシ、バックプレート、ラック・システム、あるいはエンクロージャが使用できることを仮定しており、それを局所 RF 基準として用いていたが、それが何らかの特別なシールド性能を与えるように設計されていることは仮定していなかった。意図された動作環境における電磁的な脅威がエンクロージャ内で用いられている電子ユニットには激し過ぎる場合、あるいは製品内の電子ユニットによって放射される妨害から環境を保護する必要がある場合、シールド・エンクロージャが必要となるかも知れない。



エンクロージャのシールドは、金属のエンクロージャ (あるいは金属コーティングされた表面や導電性フィラーを用いたプラスチックのエンクロージャ) を必要とする。シールドを成功させるためには、設計と組み立ての詳細にわたる非常に慎重な注意が必要である。シールドの開口部は「スロット・アンテナ」として振舞い、単一のギャップについて Figure 3N に示したようにシールド効率 (SE) を損なう。

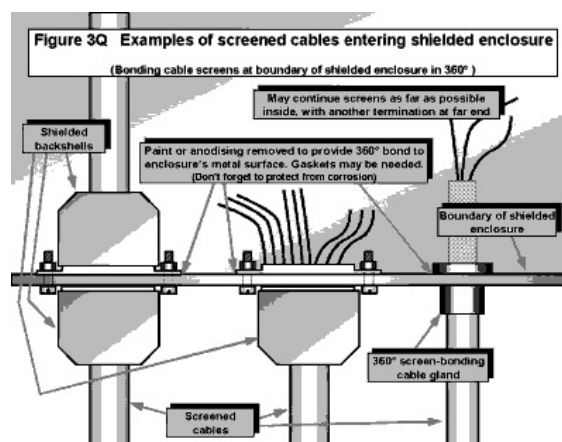
[3] はキャビネットのための良いシールドのプラクティスを解説しており、電子設計者の視点からのより多くの情報は参考文献 [14] にある。このシリーズの第 4 部は施設レベルでのシールドを扱う。優れた EMC 性能のシールドされたウィンドウや換気口を持つ完全にシールドされた完成したキャビネットは多くの供給者から購入することができ、それは扉に取り付けられるユニットのための開口部の切り抜き、穴の穿孔、フィルタの劣悪な取り付け、劣悪なケーブル遮蔽や遮蔽接続、あるいは扉の開放によって容易に完全に台無しにされ得る。

Figure 3P は、ユニットがシールド・エンクロージャの壁を貫通しなければならない場合に、クリーン・ボックス/ダーティ・ボックス手法をどのように使用するかを示す。特に良い SE が必要、あるいはより高い周波数を管理する必要がある場合には、全て



の表示をシールド・ウィンドウの裏側に置くことが遥かに良い。シールドされたタッチスクリーンは、そのシールド面がエンクロージャの開口部のエッジの全周で電氣的に接続される限り、シールド・エンクロージャへのヒューマン・マシン・インターフェースの追加の問題に対する良い EMC 解決策となるかも知れない。

3.10.1 シールド・エンクロージャに入る遮蔽ケーブル



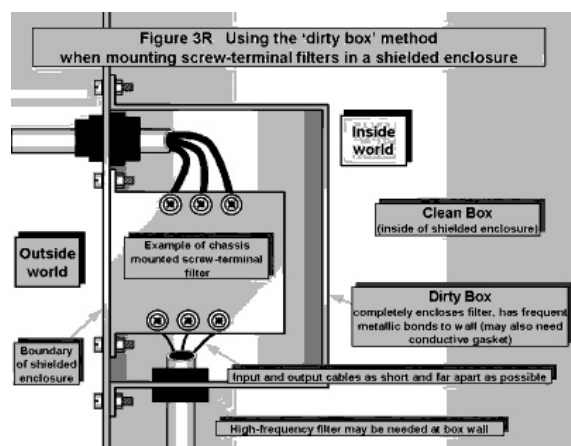
シールド・エンクロージャに入る全ての遮蔽ケーブルは、Figure 3Q に示すように、その導入の位置で 360° 遮蔽終端グラウンドやコネクタを用いてその遮蔽をエンクロージャの金属 (あるいはメタライズされた) 境界に接続しなければならない。高い周波数 (例えば 1MHz 以上) が関係しない非常に特別な環境を除いては、この仕事のために鞍型クランプやビッグテールを用いてはならない。

3.10.2 シールド・エンクロージャに入る遮蔽なしケーブル

シールド・エンクロージャに入る全ての遮蔽なしケーブルには、そのエンクロージャに要求されるも

のと同等の水準の RF 減衰率 対 周波数を与えるフィルタを取り付けなければならない。このフィルタはケーブルがエンクロージャの金属（あるいはメタライズされた）境界を貫通する位置に取り付けなければならない。隔壁取り付け型フィルタ（フィルタ付きコネクタなど）は、その金属の本体が切り抜きの全周でエンクロージャの金属面に良好な電氣的な接続を持つ限り、最小限の SE の低下を生じる。適当な水準の SE が必要な場合にはフィルタの固定によって与えられる接続に頼れば充分かも知れないが、良い SE —特に高い周波数における— のためには、通常はフィルタの金属本体とエンクロージャの金属面をその周囲全体で接続するために導電性ガスケットを必要とする。

高電力導体をフィルタする場合には、最良の手法は高電力貫通フィルタを用いることである。その外部端子には保護カバーが必要となるであろう。代替手段の 1 つは、「シールド・ルーム・フィルタ」—SE を損なうことなくシールド・エンクロージャの壁を貫通するように特別に設計された箱型フィルタ—を用いることである。これらのフィルタは通常は専用のコンパートメント・シールドを備えており、また通常はそのフィルタされた出力を導電処理されたコンジットを通してシールド・エンクロージャに引き込む。



他の代替手段は、Figure 3R に示すように、低コストのねじ止め端子型フィルタとともにクリーン・ボックス/ダーティ・ボックス手法を用いることである。このテクニックで高い SE を達成するためには、詳細にわたる注意、特に「ダーティ・ボックス」のエッジの周囲の接続の全てのギャップを最小限とし、またダーティ・ボックス内の入力と出力のケーブルの双方を短くし、かつ互いに遠く離すことによってそれらの間での高周波結合を低減することが必要となる。そうしてさえも、それらのケーブルの一方、もしくは双方に、高周波隔壁取り付け型フィルタ（あるいはいくつかのフェライト・シリンド）を取り付ける必要があるかも知れない。

3.10.3 隔離されたキャビネット

Figure 3S An example of a 'clean / dirty' segregated shielded cabinet

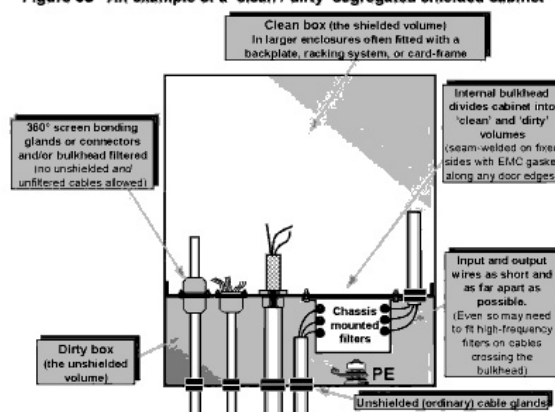
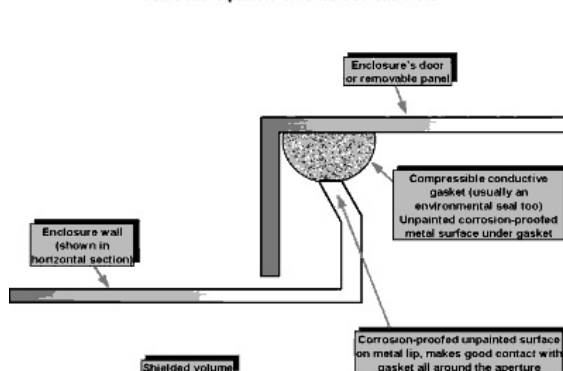


Figure 3S は、ケーブル遮蔽の終端やねじ止め端子型フィルタのために、上で解説した手法を用いて「クリーン」な、及び「ダーティ」な空間に隔離されたシールド・キャビネットを示す。キャビネットを分割する代わりに、メインの「クリーン」キャビネットの側面にボルト止めされ、あるいは（望ましくは）シーム溶接された、追加の「ダーティ」キャビネットが用いられることもある。

3.10.4 扉、取り外し可能なパネル、表示、そして換気

Figure 3T EMC-bonding doors and removable panels on shielded cabinets



有効な SE を達成するためには、エンクロージャの開口部は数は少なく、また大きさは小さくしなければならず、従って、扉や取り外し可能なパネルは、そのエッジの全周で短い間隔での電氣的な接続を持たなければならない。それらをワイヤやストラップで接続することは、数 MHz 以上では全く良くない。Figure 3T は、導電性 EMC ガスケット（銀滅金されたガラス・ビーズを混ぜたシリコン・ゴムなど）を用いた、扉や取り外し可能なパネルの接続を示す。EMC シールと同様に環境シールも与える EMC ガスケットが入手可能である。ガスケットと

その接触面は塗装されているはず、腐食を防止するために材質と金属仕上げの慎重な選択が必要となるかも知れない。[4] は電氣的腐食の防止に関する非常に良い解説を含んでいる。

扉や取り外し可能なパネルの周囲のガスケットの代わりにスプリング・フィンガー（「フィンガー・ストック」）を用いることができるが、用途によってはより容易に損傷を受けることがある。多くの異なったスタイルのガスケットやスプリング・フィンガーが入手可能である。ガスケットの選択は、接触抵抗などの電氣的なものとともに、柔軟性、圧縮性、電氣的順列の中での位置などの多くの物理的な要因のバランスを必要とする。開かれる扉は（手で閉めるのが容易なように）常に元の形状に戻る柔軟なガスケットを必要とするかも知れないが、これはしばしば低い接触抵抗との両立が難しいものとなる。

表示の遮蔽のためには、シールド・キャビネットの扉に取り付けられたシールド・ウィンドウを通して見るようにすることが最良である。これらのウィンドウは薄い金属コーティング（例えば、ITO として知られている酸化インジウム 錫）、あるいは黒化処理されたワイヤの細かいメッシュを用いているかも知れない。メッシュはより良いシールド性能を与えるが、ディスプレイの画素寸法に合うように慎重に選択しなかった場合には、モアレ縞効果の影響を受けることがある。どのシールド・ウィンドウも、その全周でシールド・エンクロージャの金属面に直接接触することが重要である。

換気用の開口部は、ワイヤ・メッシュ（メッシュのそれぞれの交点が溶接されたもの）を、それぞれのワイヤが開口部のエッジの周囲でエンクロージャの面に金属と金属で電氣的に接触するように取り付けることによってシールドできる。エンクロージャに多数の小さなスロットや穴を開けることは、大きな切り抜きにワイヤ・グリルを取り付けるのと同じシールド効果を達成できる。多くのシールド材料製造業者は、そのエッジの全周に導電性ガスケットが取り付けられているため、普通の金属面に単にボルト止めすることのできる、組み立て済みのシールド・グリルを販売している。これらの一部はワイヤ・メッシュをベースとしており、他の一部はより良い SE を与えるためにワイヤ・ウールやハニカム金属などのよりエキゾチックな技術に基づいている。

シールド・キャビネットの製造業者の一部は、グリルやメッシュに頼らない、他のテクニック（カットオフ以下の導波路などの）を用いているかも知れない。目に見えるシールドが何も付けられていない換気口を見たならば、それがそのエンクロージャの SE を損なうことを防止するためにどうしているのかをその製造業者に尋ねること。

3.10.5 シールド・エンクロージャの相互接続

このシリーズの第 2 部の 2.9 章と Figure 2T を参照されたい。

3.11 コネクタ・パネル

理想的には、全ての外部ケーブルが内部の電子回路の局所 RF 基準面や空間にそのエッジや面の 1 つから入るように、それぞれのエンクロージャごとに単一のコネクタ・パネルのみがあるべきである。これは、（ここで解説した他のテクニックとの組み合わせによって）特にある種の工業環境や雷雨に際して長い外部ケーブルを流れることがあるコモン・モード電流が、その領域に取り付けられた遮蔽終端やフィルタを通り、そのコネクタ・パネルやバックプレートのエッジを介してケーブルからケーブルに流れるようにするためである。結果的に、それらの循環電流はエンクロージャの残りの部分や RF 基準、あるいは内部の電子回路やそのケーブルを通じては流れない傾向を持つこととなり、これは干渉の防止を助ける。これについてのより詳細な点は、このシリーズの第 2 部の 2.8.3 章、特に Figure 2S を参照されたい。

3.12 ケーブル・クラスと隔離

製品内部のケーブルは、このシリーズの第 2 部の 2.8.1 章で解説した（ここでは繰り返さない）ように、少なくとも 4 つのクラスに分けるべきである。それらのクラスは常に製品の内部で物理的に隔離されていなければならない、長く並行した線は、可能であれば 150mm よりも近付くべきではない。ケーブルは常に局所 RF 基準のできる限り近くを走るべきであり、ケーブル・クラスが交差しなければならない場合には直角にのみ交差すべきである。150mm の隔離が現実的でない場合には、遮蔽ケーブルはより高いシールド性能、及び / もしくはその端でのより高品質の遮蔽終端（例えば、鞍型クランプやピグテールの代わりに、シールドされたコネクタやグラウンド）を持つ必要があるかも知れず、また遮蔽されていないケーブルは遮蔽されたものと置き換える必要があるかも知れない。

3.12.1 コンピュータ技術を用いたデバイスからのケーブル

多くの電子デバイスは、EMC の用語で比較的良性であるとみなされるであろう I/O 信号（例えば、オーディオ出力、プッシュボタンからの入力、熱電対入力、表示ランプ出力）を持っている。しばしば気付かれないことは、ユニットの中にデジタル処理

が含まれている場合、それらの I/O が I/O 信号自身とは無関係な、非常に高い周波数成分を含むことがある高レベルのコモン・モード・ノイズを運ぶことがあるということである。

大抵は内部のクロックやデータ・バスの高調波が主犯であり、しばしば数百 MHz のコモン・モード・エミッションを与える。従って、その内部にデジタル処理を含んでいる電子デバイスの製造業者がそうでないと明言しない限り、常にそのような信号に遮蔽ケーブル（ピッグテールは使用せずに）、もしくはフィルタを使わなければならないものと想定すること。

3.12.2 近傍に RF 送信器がある場合の外部ケーブルの分類

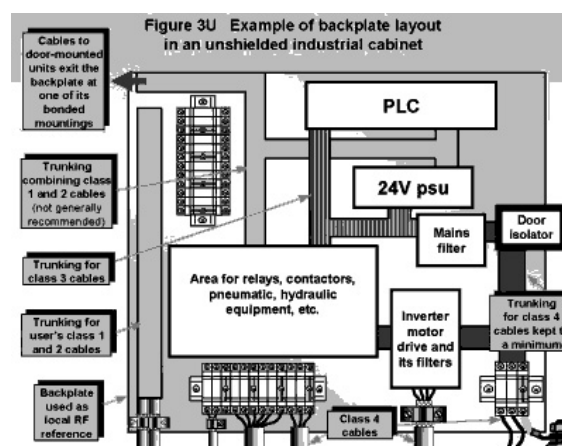
2.8.1 章はそれが運ぶ信号によってケーブルを分類したが、ケーブルの外部環境の影響を考慮することも必要である。強力なラジオ、TV、あるいはレーダーの送信器が近くにある場合、それは外部ケーブルにとって特に敵対的な環境を生じる。この例は、放送局、携帯型小型無線機、車載無線機（例えば緊急自動車のガレージにおいて）などである。それらの送信器の許容できる近さはその RF 電力に依存し、そのような送信器が脅威となるかの判断を助けるための式や表、例えば [15] が入手できる。

電気工、施設屋、建築屋、オペレータ、保安担当者、あるいは保守要員が用いる小型無線機はケーブルに非常に近いことから特に厄介なものとなることがあり、それを使用しても良い領域を制限することが必要かも知れない。ある種の RF 発生機器（誘導炉、誘電加熱器、プラスチック溶着装置や封止装置、マイクロ波乾燥器など）も非常に高レベルの無線周波エネルギーを放射し、それらの近くを通るケーブルに大きな問題を引き起こし得る。

そのような問題がわかり、あるいは疑われる（その顧客が詳細を提供できるべき）ならば、そのパネルに出入りする信号や電力のケーブルは常にクラス 1 か 4 として扱い、必要に応じて遮蔽、及び/もしくはフィルタを用いるべきである。しかし、もしその外部ケーブルが RF 暴露領域において常に密閉された RF 接続されたコンジット（例えば、RF 接続されたカバーを備えた矩形のコンジットや、円筒コンジット）に入れられているならば、そのクラスにおける通常のケーブルを使用できるかも知れない。

3.13 製品内部の配置

ミリボルト入力のトランスジューサ増幅器やプログラマブル・ロジック・コントローラ（PLC）などの敏感なユニットを、リレーやコンタクト、あるい



はスイッチ・モード電力変換器などの電氣的にノイズなユニットから充分に離し、また異なったケーブル・クラスの隔離の達成を助けるために、製品内の様々な電子、電気、空圧、水圧などのユニットを慎重に配置する。Figure 3U は、単純な工業用制御盤のバックプレートにおける配置の例のスケッチである。

Figure 3U のクラス 1 と 2 のケーブルが同一の経路を通っていることに注意されたい—これはパネルが非常に小さく、かつ非常に少数のクラス 1 ケーブルしかなく、またそれらが非常に敏感ではないことから、許容できると思われる妥協である。妥協することは誤りではなく、結局それがエンジニアリングの生命であるが、妥協は必要な知識（この場合は EMC）を持つ資格のある人々によってケース・バイ・ケースで決定されることが非常に重要である。

Figure 3U におけるように、内部にクラス 4 ケーブルを全く持たないように、あるいは少なくともその内部での長さを可能な限り最小限に保つようにすること。これは、スイッチ・モード電源やインバータ・モータ・ドライブなどをその製品のエッジの近くに取り付け、かつ/もしくは導入される全てのクラス 4 主電源をクラス 3 や 2 にするためにその入口でフィルタすることを意味する。

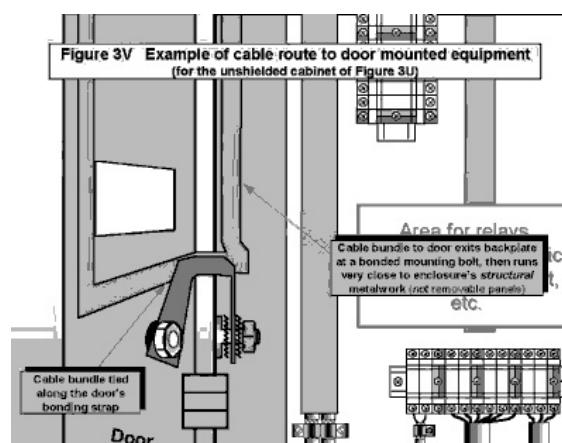


Figure 3V は、遮蔽なし工業用キャビネットの扉に取り付けられたユニットへの最良のケーブル引き回しを示す。ケーブルはその全長にわたって局所 RF 基準の近くを走り、これはその電氣的に接続された固定点の 1 つの箇所でバックプレートを出ること、そしてその扉を近傍のキャビネット壁に接続する短い網組導体に括り付けられて扉の可動軸を横切することを意味する。蝶番は大抵はグリースやプラスチック・インサートを含んでいるので、それが扉とエンクロージャとを電氣的に接続することに頼ることはできない。良く遮蔽されたキャビネットにおいては扉は導電性ガスケットによって全周で接続され、従ってケーブルが可動軸をどこで横切るかは問題ではない。

3.14 参考文献

- 1 "EMC for Systems and Installations", Tim Williams and Keith Armstrong, Newnes, 2000, ISBN 0 7506 4167 3.
- 2 IEC 61000-5-2:1997 "Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 5: Installation and Mitigation Guidelines – Section 2: Earthing and cabling".
- 3 IEC 61000-5-6:1999 (draft) "Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 5: Installation and Mitigation Guidelines – Section 6: Mitigation of external EM influences" (BSI から 99/244605DC として入手可能)
- 4 NAVAIR AD 115 "Electromagnetic compatibility design guide for avionics and related ground equipment", 3rd Edition June 1988, Naval Air Systems Command, Department of the Navy, Washington DC, USA.
- 5 Defence Standard 59-41 Part 7 Issue 1 10th November 1995 "Electromagnetic Compatibility – Code of Practice for HM ships, installation guidelines" (<http://www.dstan.mod.uk> から無料でダウンロード可能)
- 6 "Electromagnetic Compatibility – Installation Guide", published by Eurotherm Controls, phone: +44 (0)1903 268 500.
- 7 "Electromagnetic Compatibility – Technical Catalogue", published by Himel (UK では Bowthorpe Hellerman Distributors から入手可能. phone: +44 (0)1922 458 151)
- 8 "Electromagnetic Compatibility – Practical Installation Guidelines", published by Telemechanique (Groupe Schneider), 多くのディストリビュータから入手可能
- 9 "EMC-compatible enclosure assembly", published by Rittal, phone: +44 (0)1709 704 000, e-mail: information@rittal.co.uk.
- 10 "Electromagnetic Compatibility in Heavy Power Installations" IEE Colloquium held in Middlesbrough on 23rd February 1999, Digest No. 99/0666 (ISSN 0963-3308) IEE Sales から購入可能. phone +44 (0)1438 767 328, e-mail: sales@ieee.org.uk.
- 11 "Audio products and systems – Good design for EMC sounds better too", Audio Engineering Society UK Conference "The Measure of Audio" 28-29 April 1997, London UK
あるいは、"Sound design yields professional results", Keith Armstrong, Approval magazine, Sep/Oct 1999, pages 27 – 31.
- 12 "Choosing and installing mains filters", Keith Armstrong and Tim Williams, Compliance Engineering magazine, January/February 2000, pages 68 – 75.
- 13 "Design techniques for EMC – Part 3: Filters and surge protection devices", Keith Armstrong, The UK EMC Journal, June 1999, pages 9 to 15
- 14 "Design techniques for EMC – Part 4: Shielding", Keith Armstrong, The UK EMC Journal, August 1999, pages 10 to 20
- 15 "Assessing immunity criteria in the real world", Keith Armstrong, Approval magazine, July/Aug 1998 pages 34 to 37, and Sep/Oct 1998 pages 20 to 23.

Copyright (C) 2000 Nutwood UK Ltd.

これは、Keith Armstrong 氏が EMC+Compliance Journal 上で発表した文書を、その許諾を得て T. Sato が翻訳したものです。この翻訳については、原著者らはいかなる責任も持ちません。これについての意見、質問などは VEF00200@nifty.ne.jp (T.Sato) 宛にお送り下さい。

Last update: 2000-08-02