

—システムと施設の EMC—

Part 4: フィルタとシールド

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 テクニックに関する隔月の 6 個の論文のシリーズの 4 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 テクニック
- 3. アセンブリにおける EMC テクニック
- 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 テクニッ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ックを用いるかも知れない。このシリーズのテクニックのいくつかは、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ッ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 4 部の目次

- 4.1 フィルタやシールドは何のために用いるか？
- 4.2 施設におけるゾーン分離の重要性
- 4.3 ゾーン境界を横切った結合
 - 4.3.1 共通インピーダンス伝導性結合
 - 4.3.2 共通インピーダンス以外の伝導性結合
 - 4.3.3 伝導性結合の除去のための戦略
 - 4.3.4 放射性結合 — 容量性、誘導性、そして無線波
 - 4.3.5 ゾーン境界を横切った電磁結合の要約
 - 4.3.6 シールドとフィルタの共同作業
- 4.4 施設におけるフィルタリング

* Cherry Clough Consultants, Associate of EMC-UK

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

- 4.4.1 フィルタの目的 —金属インターフェースのノイズの減衰
 - 4.4.2 CM、及び DM の減衰
 - 4.4.3 信号源、及び負荷のインピーダンスの影響
 - 4.4.4 フィルタのゲイン
 - 4.4.5 フィルタの周波数応答
 - 4.4.6 フィルタの配置
 - 4.4.7 フィルタの「接地」
 - 4.4.8 フィルタの配線
 - 4.4.9 接地漏洩電流
 - 4.4.10 フィルタの安全認証
 - 4.4.11 フィルタの定格
 - 4.4.12 フィルタと過電圧
 - 4.4.13 単純なソフト・フェライト・フィルタ
- 4.5 施設におけるシールド
 - 4.5.1 ゾーンのシールド
 - 4.5.2 非常に低い周波数のシールド
 - 4.5.3 10kHz 以上のシールド
 - 4.5.4 1MHz 以上のシールド
 - 4.5.5 開口部の処理
 - 4.5.6 扉が問題
 - 4.5.7 シールドされたエンクロージャや部屋の相互接続
 - 4.5.8 導波路テクニック
 - 4.5.9 第三者の使用
- 4.6 電子戦
- 4.7 参考文献

4.1 フィルタやシールドは何のために用いるか？

双方のテクニックは、ゾーンに侵入する電磁妨害を低減するため、あるいはゾーンから放射される電磁妨害を低減するためのいずれかに用いられる。「電磁妨害」は、主電源のディップやドロップアウト（最も低い周波数）からレーダーや衛星通信からのマイクロ波放射（GHz）にまで達する全ての種類の電氣的／電子的なノイズと干渉の全てを包含する公式な用語である。

この種の保護ゾーンは常に空間である—我々はしばしば領域（例えばフロアのある範囲）という用語で考えるが、ゾーンは3次元であることを常に覚えておくべきである。ゾーンは大きい場合も小さい場合もある。これは、そのオペレータが使用する携帯

無線機による干渉を受けるかも知れない製造工程のためのタッチ・スクリーン遠隔制御ユニットのような、機器の1つの要素だけを含む場合もある。

計装、コンピュータ、あるいはテレコム機器室などの敏感な電子機器がノイジーな電磁環境の妨害を受ける可能性がある場合には、フィルタとシールドが、それらのための保護ゾーンを与えることによってその信頼性を向上させられる。高レベルの電磁妨害を発生する機械（例えば、プラスチック溶着機、誘導加熱器、あるいは木材接着機などの強力な RF フィールドを用いるもの、あるいは電気アークやプラズマを用いる全てのもの）が用いられる場合には、その妨害を専用のゾーンに制限して施設の他の部分や外部環境を保護するためにフィルタとシールドを用いることができる。

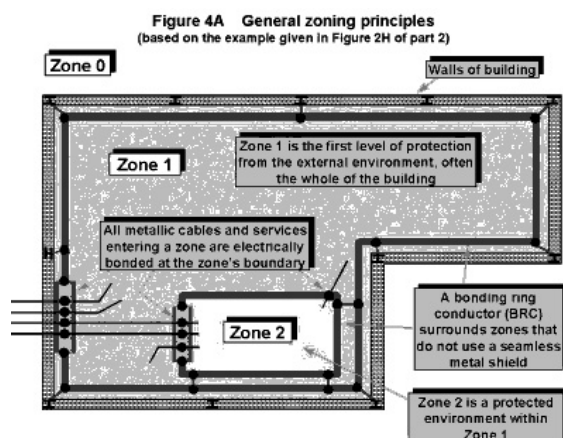
New Scientist [2] の7月1日号のカバー・ストーリーより—我々全てがコンピュータやテレコムにより依存し、また一般にこれらが複雑化するにつれて電磁妨害への耐性が低くなっているため、電磁妨害からの保護は、金融、商業、そして安全保障と同様、一般社会のためにも重要となっている。

4.2 施設におけるゾーン分離の重要性

施設内での慎重なゾーン分離は、ゾーン分離を有効に使うために必要である。既設のコンピュータや機械をそのケーブル全てとともに移動させることは、失われた生産の観点のみでも、非常に高価なものとなり得る。従って、最良の費用効果のためには、ゾーン分離はプロジェクトの最も初期の段階からの計画を必要とする。

このシリーズの第2部（2.2章、及び Figure 2A）は、それらのあいだの干渉の可能性を最小とするために、ある種類の装置とその電源や信号のケーブルを他のものから地理的に隔離することがいかに重要であることを示すことから始まった。隔離はゾーン分離の本質的な部分である。保護されるべきもの（あるいはそれから保護すべきもの）の隔離なくしては、フィルタやシールドの利益を実感することは不可能かも知れない。

Figure 4A はゾーン分離の一般的な原理を示している。施設における入れ子になったゾーンの数には制限はないが、Figure 4A では2個をわずかに超えるものだけが示されている。電子機器のエンクロージャはもう1つのゾーンを提供し、また電子機器の内部にもさらに入れ子になった保護ゾーン（例えば、敏感な、あるいはノイジーな回路のための）があるかも知れず、従って電子機器を含んだ2ゾーン施設の完全な分析は、実際には4個、あるいはそれ以上の入れ子になったゾーンが関係することを明らかに



するかも知れない。機器のゾーンは私の以前の論文のシリーズ、「EMC のための設計テクニック」[4]で解説したテクニックを用い、ここでは詳しく解説しない。

ゾーン内の全ての電気 / 電子回路とゾーン外部の環境とのあいだの電磁結合は、ゾーンの境界でフィルタとシールド（そして光絶縁や光ファイバのようなその他のテクニック）を用いて制御される。電磁結合がゾーン境界を横切ることができる全ての経路を考慮する必要がある。このシリーズの第6部においては、ゾーン分離が雷防護のためにも非常に重要であることを見るであろう—これは、（電子戦のように）集積回路をより強力にするためにシリコンの外形が小さくなるにつれてさらに厄介なものとなっている。

4.3 ゾーン境界を横切った結合

ゾーン境界で制御する必要があるかも知れない5種類の電磁結合がある：

- 共通インピーダンスによる伝導性結合
- 共通インピーダンス以外による伝導性結合
- 容量性放射結合
- 誘導性放射結合
- 電磁波放射結合

伝導性結合は、緑 / 黄のストライプの被覆の導体を含めて、いかなる金属を通して発生し得る。これは、純粹でない水やある種の工業用溶剤などの導電性の液体、そして土や人体などを通して発生し得る。放射性結合は空気を通して伝搬するが、木材、ガラス、プラスチック、ガラス繊維、絶縁性の液体やガス、そして真空を通して伝搬する。

4.3.1 共通インピーダンス伝導性結合

共通インピーダンス結合は、共通の電気回路—最も普通には「接地」や AC（主電源）や DC などの共有される電源—の不可避なインピーダンスによって引き起こされる。建物の中では、電磁結合は接地電極には影響されず、従って保護導体と保護金属構造のネットワーク（詳しくはこのシリーズの第1部[5]を参照）のために、私は「接地」という単語の代わりにより誤解を生じにくい「共通接続ネットワーク」（CBN）という用語を用いる。

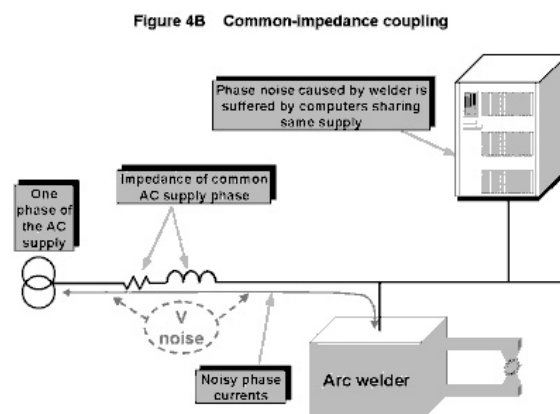


Figure 4B は、主電源の相においてどのように共通インピーダンス結合が生じるかを示す。電源から溶接機（例として）に流れる急速に変動する電流は、不可避な給電インピーダンスにより、コンピュータに影響するかも知れない相電圧の変動を引き起こす。

同様の状況は CBN においても発生するが、それが主に主電源フィルタからの「接地漏洩」、絶縁の故障、そしてモーターの漏洩電流（巻線とフレームのあいだの浮遊容量による）によって引き起こされるために、この電流はさらに予測しにくい。現代的なオフィスにおいては、コンピュータに取り付けられた RFI フィルタによる「接地漏洩」は非常に大きいものとなり得る。ある最近の建物において、その主接地端子においてコンピュータの RFI フィルタのみによる 70A の漏洩電流が見出された [13]。

主電源フィルタによる漏洩電流は、特に今日ではしばしばそうであるように主電源が高調波妨害の影響を受ける場合には、50Hz よりも遥かに高い周波数を多く含む傾向がある。主電源ケーブルや CBN は主として誘導性であり、そのインピーダンスは周波数に比例して上昇するため、より高い周波数の電流はそれに比例してより大きな共通インピーダンス問題を引き起こす。

ある種の構成では中性導体と保護接地導体の双方に単一の導体を用いる配電システム（例えば TN-C）が用いられる。これらは EMC のためには非常に劣悪なものであり、その代わりに TN-S（3 相、中

性導体、保護導体) のような 5 線システムを用いるべきである [7]。ある種の環境では、TT、及び IT 配電システムが受け入れ可能な代替手段となるかも知れない。(IT やテレコム施設のための多くの現代的な規格が同じ勧告をしている。)

通常の使用で共通インピーダンス結合が問題を引き起こさないとしても、スイッチ投入サージ、地絡、そして落雷事象 (直撃に限らない) が相と CBN 導体の双方に大電流を流れさせ、それに応じて大きな共通インピーダンス結合電圧を引き起こすことがある。

共通インピーダンス結合を低減するためのテクニックはこのシリーズで既に示した— 第 2 部 [3] の 2.2 章 の異なった分類の機器のための異なった配電変圧器の使用、2.4~2.7 章 の MESH-CBN や並行接地導体 (PEC) の使用など。

4.3.2 共通インピーダンス以外の伝導性結合

他の伝導性結合は、大抵は金属の信号相互接続による。あるユニットの信号接続ポートから出されたノイズは信号ケーブルを介して他のユニットの信号ポートに伝えられる。このノイズは信号自身のような差動モード (DM)、あるいはコモン・モード (CM) のいずれとなることもでき、大抵は双方を混ぜたものとなる。

ケーブルの重要なパラメータはその縦横変換損失 (LCL; longitudinal conversion loss) —それが運んでいる必要な信号を不要なコモン・モード (CM) ノイズに変換する割合 ([4] の第 3 部を参照)— である。これはケーブルとコネクタの双方に用いられる ZT 仕様 (surface transfer impedance) と似ている。全ての金属導体は必要な DM 信号を不要な CM ノイズに (そして不要な CM ノイズを信号上の不要な DM ノイズに) 変換する。この詳細については [1] の第 7 章を参照されたい。CM ノイズは、どのような遮蔽をも含め、ケーブル中の全ての導体を等しく伝搬し、一般に数 MHz 以上の周波数での電磁結合問題の大半を引き起こす。

デジタルやアナログの DM 信号の高周波成分、あるいは信号に乗っている高周波 DM ノイズは、いずれも CM に変換され、そしておそらくは伝導性や放射性の公害の原因となり得る。[11] でさらに詳しく調べたように、この点で信号インテグリティと EMC には関係がある。

金属の相互接続はその環境から CM ノイズを拾い上げることもある。例えば：

- それが接続される機器が著しい CM 電圧を含む場合。(PC やその他のデジタル処理デバイスで、外部ケーブルが遮蔽を持たない場合、あるいはその遮蔽が PC のエンクロージャ・シールドではなくデジタル 0V に接続されている場合の典型的な状況。)
- そのケーブルがノイズなケーブルや装置の近くを走る場合、そのノイズを「拾い上げ」て、再放射する。(無線通信エージェンシーからの例は「Banana Skins」の No.85 [6] を参照。)

4.3.3 伝導性結合の除去のための戦略

大抵、伝導性結合を除去する最良の方法は、導体を全く使用しないことである。内蔵電源を持ち、無線 (ラジオ)、赤外線、レーザー、あるいは光ファイバ (金属を使用していないもの!) で通信する、それに取り付けられた金属導体を全く持たない電子ユニットは、明らかに伝導性結合の影響を受けない。携帯電話、携帯情報端末、そしてある種の医療用患者接続形機器のように、一部の製品は既にこの方法で設計されている。

無線や光ファイバによるインターフェースは、その高い材料コストのため、プロジェクトの初期には考慮されないことが多い。しかし、(違約条項が発効されないとしても) システムの稼働開始の 1 日の遅延でさえも、光ファイバを使用するためのコストよりもプロジェクトの総コストを引き上げることがある。年に数時間のダウンタイムでさえも、顧客に次回は他の供給業者を選択させることがある。従って、金属のインターフェースを避けることは、非常に費用効果の良い戦略となり得る。

ケーブルが用いられる場合においても、伝導性結合は 1:1 トランスや光絶縁素子のような電氣的絶縁テクニックによって低減させられる。これらのいくつかは、広帯域の絶縁を得るためにフィルタと組み合わせる必要があるかも知れない。今では、実に多数のフィールド・サービス要員が、光学的データ絶縁デバイスを常に携帯している。しかし、この論文はフィルタやシールドを念頭に置いたものであり、内蔵電源や非金属の通信に関するこれ以上の議論は対象範囲外となる。

4.3.4 放射性結合 — 容量性、誘導性、そして無線波

導体間の「寄生」、あるいは「浮遊」容量、そして相互インダクタンスは、伝統的にクロストークとして知られている、容量性、及び誘導性の結合を引き起こす。[3] の 2.8 章、及び第 3 部 [8] の 3.12 章で示したように、これら双方は干渉を与える導体と干渉を受ける導体の間隔を広げ、またそれらを PEC の近くを走らせることによって低減できる。

ケーブルがケーブルの長さと同等の波長の信号やノイズを運ぶ場合には、それは非常に効率的な RF 放射アンテナとして振舞い始める— RF 受信アンテナとして振舞う他の導体に拾い上げられるような電磁平面波（無線波）を空中に放射する。ツイスト・ペア、及び／もしくは遮蔽の使用（[4] の第 2 部を参照）のような、ケーブルの放射効率を低減するいくつかの方法がある— しかし、これらはケーブルの LCL にのみ影響する— これらはケーブルの CM ノイズに対する RF アンテナとしての効率には違いを生じない。

ケーブルは、その長さが関係する周波数における波長のおおよそ $1/10$ を超えると、CM ノイズの送信や受信のための非常に効率的な RF アンテナとなり始める。10kHz (50kW 空调用モーター・ドライブの典型的なスイッチング周波数) においては、3km までの長さのケーブルは、他のケーブルへの相当のクロストークを引き起こすことができるものの、非常に効率的な RF フィールド送信器と見られることはないであろう。しかし、10MHz (10kW モーター・ドライブで見られる典型的なスイッチングの高調波) においては、しばしばケーブルは 3m 以上の長さでかなりの RF 送信 / 受信アンテナとなり、その「クロストーク」特性を著しく変える。(この $1/10$ ルールはおおまかなものである— もし非常に高い水準の保護を目指すのであれば、波長の $1/100$ でさえも問題となる長さとなり得る。)

4.3.5 ゾーン境界を横切った電磁結合の要約

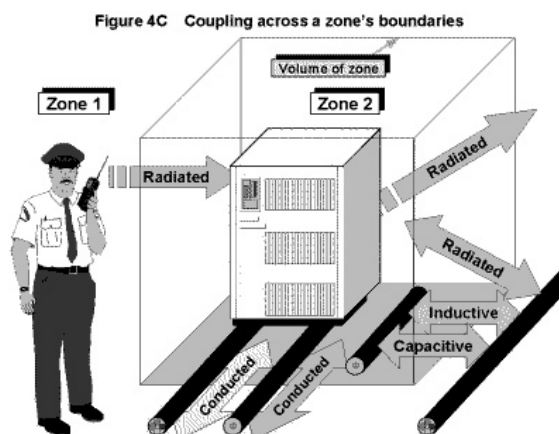
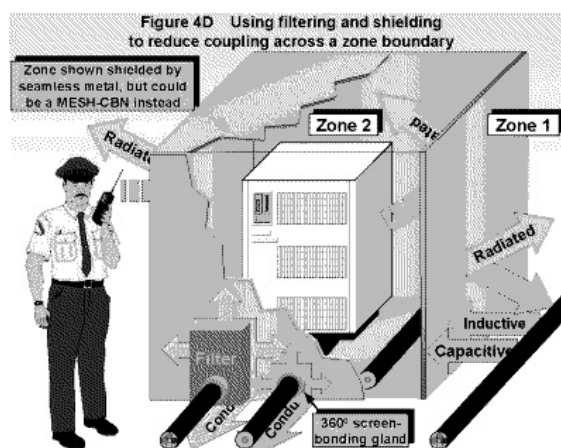


Figure 4C はゾーン境界を横切って起こり得る様々な電磁結合を図示している。

Figure 4D はゾーン境界を横切った結合を抑制するためにどのようにフィルタとシールドが用いられるかを示している。ゾーン内の CBN をフィルタすることは不可能であるが、その管理すべき周波数におけるインピーダンスが十分に低ければそれは「ファラデー・ケージ」シールドの一部とできることに注意せよ。



4.3.6 シールドとフィルタの共同作業

全ての電氣的な、及び無線の信号やノイズは電磁現象であり、従っていずれもそれが伝搬している媒体の特性インピーダンスの変化に影響される。フィルタとシールドは同一の目的— 不要な結合経路の全てに必要な大きさのインピーダンスの不連続を設けること— を持つ。従って、フィルタとシールドの正しい見方は、互いに他方を補完する共同作業としてのものである。

放射されたフィールドはケーブルによって拾い上げられ、そのケーブルを伝導性ノイズとして伝搬することがある。ケーブル上の伝導性ノイズはフィールドとして空中に放射されることがある。従って、不適切なフィルタリングは望まれない放射性結合を容易に増加させ、また貧弱なシールドイングは望まれない伝導性結合を容易に悪化させ得ることを理解することが重要である。

もしあるゾーンで 40.68MHz で 40dB のシールドが必要であれば、その周波数で 20dB しか達成しないフィルタを通して導入されるケーブルはそのシールド効率を損なう可能性がある。同様に、あるゾーンを保護するためにフィルタが 40.68MHz で 40dB の減衰を達成する必要があるならば、そのゾーンのシールドのフィルタの近くの 100mm 以上の開口はフィルタの性能を損ない得る。

4.4 施設におけるフィルタリング

4.4.1 フィルタの目的 — 金属インターフェースのノイズの減衰

フィルタの目的は、金属インターフェースを介してゾーンに入る、あるいは出て行く干渉の伝搬を防止することである。これは伝導性結合を直接低減し、またそのケーブルへの、あるいはそのケーブルからの放射性結合の低減も助ける。

フィルタの設計や組み立てについては他で遥かに詳しくカバーされているが、回路設計の教科書やシ

ミュレータを用いて設計されたフィルタが実際のシステムや施設における電磁妨害を制御するために用いられた場合には、しばしばそれでは不足であることが判明する。この問題の多くは組み立てと設置に関連して引き起こされるものであり、このシリーズの第3部 [8] の 3.9 章と同様、[9] や [10] でもカバーされている。これらの実践的な論点全ての詳細に踏み込む代わりに、以下でそれらの要点を示すのみとする。

4.4.2 CM、及び DM の減衰

フィルタは、それぞれに要求される帯域と減衰の程度に応じて、CM、及び DM モードを減衰させるように設計されるべきである。低域通過 DM フィルタは、しばしば、ケーブルの LCL (あるいは ZT) によって厄介な CM ノイズに変換されることを防止するために不要な高周波信号やノイズを除去するために必要となる。

CM フィルタは、しばしば、電子ユニット内の CM ノイズがケーブルに入ることを防止するため、あるいはケーブル上の CM ノイズが電子ユニットに入って DM に変換されることを防止するために用いられる。CM フィルタは、必要な DM 信号の帯域内の周波数で高い減衰を与えるように設計できる。

4.4.3 信号源、及び負荷のインピーダンスの影響

現実には、フィルタは大抵はその入力や出力で 50Ω のインピーダンスに出会わないが、安価なフィルタ (特に単一のステージのみのもの) はその終端インピーダンスに非常に強く依存し、減衰の代わりに増幅を与えることさえある。

大抵の D 形の隔壁取り付け形フィルタのように、フィルタが信号線からシャーシへの単純なコンデンサである場合には、(ケーブルの長さや伝搬速度に関係するある周波数よりも上においてはケーブルの特性インピーダンスが遠端の信号源や負荷のそれを左右することを忘れずに) 異なった終端インピーダンスの影響を扱うことはそれほど難しくはない。

主電源フィルタにおいては、その信号源インピーダンス (AC 主電源) はその位置や時刻によって $2 \sim 2,000\Omega$ (より典型的には $5 \sim 300\Omega$) の範囲で変化し得る。その負荷端においては、AC/DC コンバータのインピーダンスは整流器が導通している時には非常に低く、それ以外の時には非常に高い。全体としての状況は、フィルタの製造業者が減衰率を求めるために通常用いている整合した $50\Omega/50\Omega$ の構成とは大きく異なっている。

このシリーズの第3部 [8] の 3.9 章では、主電源フィルタを扱うための図表的な手法を示唆した。こ

れは、整合した、及び不整合の CM、及び DM 曲線全てをフィルタ製造業者から入手し、それら全ての最悪値の新しい曲線を描くことを必要とする。フィルタがこの新しい曲線 ([8] の Figure 3M を参照) よりも悪い性能を与える可能性は高くない。これは過剰性能をもたらすかも知れないが、最適なフィルタを確実に得る唯一の方法は様々なフィルタ設計に対して伝導性エミッション試験を行なうことであるので、この図表的な手法はカスタム設計における利点がある。

4.4.4 フィルタのゲイン

これは典型的な状況で用いられる安価な主電源フィルタにおける極めて現実的な問題である。典型的な信号源と負荷のインピーダンスで動作させた場合、大抵の単一ステージ主電源フィルタは、 150kHz から 2MHz の範囲でエミッションを 20dB 程度まで増大させ得る。この問題は [8] の 3.9 章、及び [1] の 8 章でカバーされており、上で述べた図表的手法がそれを同定する。2つ以上のステージから成る主電源フィルタはこの問題を非常に強くは示さないが、依然として低い周波数 (普通は 500kHz 以下) では期待したよりも低い減衰しか与えないかも知れない。3つ以上のステージのフィルタは、さらに予測しやすい減衰を達成できる。

4.4.5 フィルタの周波数応答

ある種の主電源フィルタでは、通常の伝導性エミッション試験の周波数範囲 — 150kHz から 30MHz — の仕様のみが規定されている。フィルタの減衰率は、そのゾーンののための (あるいはそのゾーンからの) 伝導性、及び放射性の保護が要求される全周波数範囲にわたって規定されているべきであり、これは状況によっては kHz から GHz に達する。

4.4.6 フィルタの配置

フィルタはゾーン境界に置かれるべきである。それらをゾーン境界から離して置くことは、そのケーブルへの結合がゾーンの保護を破ることを許す。周波数が高くなるにつれて、フィルタはそのフィルタされていない側とフィルタされた側との RF 結合によって損なわれやすくなる。多くの技術者が、RF がいかに容易にフィルタを「漏洩する」かに驚かされている。

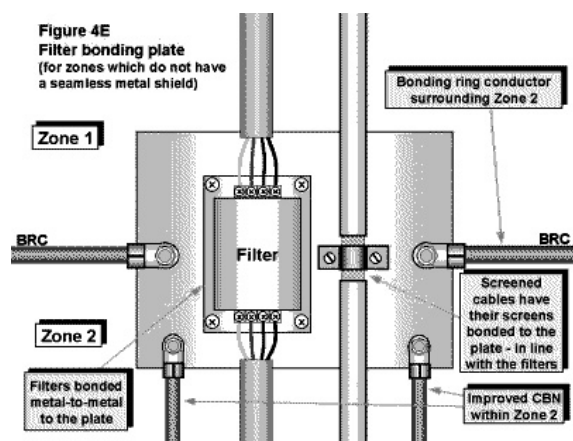
ゾーン境界が金属面 (例えばシールド・キャビネットやシールド・ルーム) である場合には、フィルタはケーブルがその金属面を貫通する点の隔壁に取り付けられるべきである。ほとんどの主電源フィルタ製造業者は、この目的のために特に設計された

「ルーム・フィルタ」を作っている。ある種の隔壁取り付け形のコネクタ（例えば D 形のもの）は、組み込みのフィルタを持つものが入手可能である。

隔壁取り付け形のもの代わりに安価なねじ端子のフィルタを用いる場合には、このシリーズの第 3 部 [8] の Figure 3R で示したクリーン・ボックス/ダーティー・ボックス手法が、そのゾーンのシールドのインテグリティの保護を助ける。フィルタをそれが関係するゾーンの外に取り付けることしかできない場合には、そのゾーンへの配線は撚り合わせ、常に CBN の要素の近くを走らせるべきである。フィルタからゾーンへのケーブルをシールドする（その遮蔽はフィルタとゾーンの双方の端で 360° 接続しなければならない）ことが状況を改善するであろうものの、そのような構成から高周波での良好な減衰を期待してはならない。

4.4.7 フィルタの「接地」

フィルタから局所 RF 基準への接続の如何なるインダクタンスもその性能を損ない得るので、フィルタの本体の「接地」のためにワイヤを用いることは普通は許容できない。[1] の 8 章の Figure 8.7 は単一ステージ主電源フィルタにおける測定値であり、その「接地」接続ワイヤを 1cm から 15cm まで増やすとその減衰率が 15MHz で 25dB 悪化することを示している。インダクタンスが大きくなる — すなわちワイヤが長くなる — と、これが顕著となる周波数が低くなる。フィルタの公表されている性能に少しでも近いものを得るためには、ケースをシャーシ・アースに直接接続することが必要である。フィルタのケースに良く設けられている接地端子は、安全上の目的のためのみのものである。



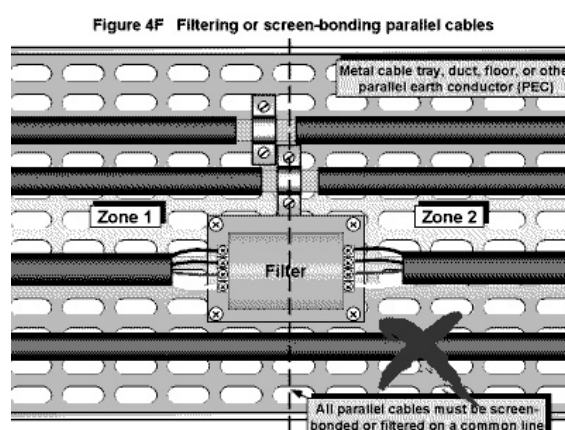
フィルタの本体とゾーン障壁—これは通常はキャビネットやチャンバーのシールド壁、あるいは接地メッシュの環状接続導体であろう—との金属と金属の直接の接続は、必要とされる高いインテグリティの「接地」接続を与える。隔壁取り付け形フィ

ルタを取り付けるべき金属の壁が存在しない場合には、Figure 4E に示すように、大きな金属板（例えば、少なくとも 1m×1m の）や金属のキャビネットをゾーン境界で CBN に可能な限り多くの点で接続し、これをフィルタの局所 RF 基準として用いるべきである。

もしそのゾーン分離された領域で絶縁された接続メッシュやシステム基準電位プレーン (MESH-IBN — このシリーズの第 2 部 [3] の 2.4.5 章を参照) が用いられているのであれば、その金属板やキャビネットはその「単一接続点 (SPC)」に取り付けなければならない。

4.4.8 フィルタの配線

フィルタされたケーブルとフィルタされていないケーブルとは、厳格な隔離を保たなければならない。決してフィルタの入力と出力の配線を一緒に束ねてはならない。ゾーン境界がシールドされたエンクロージャや部屋の金属面であり、フィルタがその面に隔壁取り付けされている場合には、その入力と出力のケーブルは互いにシールドされている — 理想的な状況である。しかし、金属のシールド面がない場合には、フィルタの入力と出力のケーブルは互いにできる限り離して慎重に引き回してフィルタの端子から出すべきである。フィルタの性能は、それらの一方、もしくは双方に遮蔽ケーブルや遮蔽コンジットを用いて入力と出力のケーブルのあいだの結合を低減することによって改善できるかも知れない。



もし PEC として振る舞うケーブル・トレイやコンジットの中にフィルタを取り付けなければならないのであれば、Figure 4F に示すようにそのコンジットの中の全ての遮蔽なしケーブルは同じ位置でフィルタしなければならない、さもなくばそのフィルタされていないケーブルからの、あるいはそのケーブルへの結合（クロストーク）がフィルタされたケーブ

ルの高周波減衰率を損なうであろう。並行するケーブルが遮蔽されている場合には、フィルタと同じ位置でそれらの遮蔽を露出させて PEC に接続すべきである。

4.4.9 接地漏洩電流

大半の主電源フィルタは相や中性線からその金属ボディへのコンデンサを含んでいる。それらは普通は数 nF に過ぎず、50/60Hz では高いインピーダンスを持つが、依然として局所 RF 基準に相当の漏洩電流を注入し得る。「相当の」は人体の電氣的反応に基づく——不随意的筋肉反応を引き起こすのに必要な電流である。1~2mA は、他の物体にぶつけて損傷を与えるのに充分なほど激しく人を痙攣させられる。9mA でさえも人の心臓を停止させるのに充分であると言われている (安全のマントラ: 「9 mills kills」)。

安全を達成することは、ユニットやシステムからの漏洩電流がユーザーや保守要員を流れられるようにする保護導体のワイヤや接続の損傷などの、全ての合理的に予見可能な単一故障の影響を考慮することを意味する。大きなシステムにおいては、個々の機器に含まれている多数の小さいフィルタからの小さな漏洩が危険なほど大きい漏洩電流を生じ得る。規格によっては、建物の中の恒久的に接続された機器は入力電流の 5% までの漏洩電流を持つことが許されている——特に昇降機や空調で用いられているような強力な可変速モータにおいては、これは非常に大きなものとなり得る。

安全に関する影響と同時に、CBN の大きな電流は、機器間のケーブルにハム、及び / もしくは高いトランジェント電圧を引き起こす、電位差の上昇を与え得る。コンデンサのインピーダンスは周波数の上昇に伴って低下するので、漏洩電流は主電源電圧の高周波成分を強調したものとなる。ある種の古い CBN の高いインダクタンスはこの高周波をさらに強調し得る。

現代的なベスト EMC プラクティスは低インダクタンスの 3 次元メッシュ接地接続 (MESH-CBN) を要求する。そのような CBN を持たない古い施設では、特殊な低漏洩フィルタを使用する利点があるかも知れない。

絶縁トランスの使用は、その接地されていない「フローティング」側に接続されたフィルタからの漏洩を、そのトランスの一次側——二次側間の静電容量で可能な程度まで除去し得る。その代わりに、問題となるフィルタに給電するために、センター・タップ付きトランスを CBN にそのセンター・タップを接続して使用することもできる。これらは安全に関

係する全てのバランスが確保できる場合にのみ用いるべきである。

3 相システムにおいては、フィルタ漏洩は (コンデンサの許容差を無視すると) それぞれの周波数における相のバランス——すなわち中性線と接地電極のあいだの電圧——と同程度に良いものとなる。今日では主電源の基本周波数の高調波の消費が増大しており、高調波は伝統的な方法ではバランスさせることができない。特に、 $3 \times n$ 次の高調波 (3 次、9 次、15 次など) は打ち消されず、常に中性線で加算される。スター接続された側の負荷の $3 \times n$ 次の高調波のバランスが良い限り、これはスター——デルタ・トランスで阻止できる。

受動フィルタ、アクティブ高調波キャンセル、そしてモーター・ジェネレータ・セットのような特定の種類の無停電電源 (ソリッド・ステートの無停電電源の多くはそれが解決するのと同程度の主電源高調波問題を生じる) など、主電源の高調波汚染を低減し、従って CBN へのフィルタ漏洩電流による電位差も低減する多くの方法がある。これらはこのシリーズの対象から外れる。

4.4.10 フィルタの安全認証

主電源フィルタは、EMC と同様、安全性に関してモクリティカルである。第三者による安全認証証明書を入手して確認した電源フィルタを使うことが、常に最良である。証明書は、その信憑性 (発行したラボに問い合わせる)、フィルタの型式と変種、温度範囲、電圧 / 電流定格、そして正しい安全規格の適用について確認すべきである。

4.4.11 フィルタの定格

主電源フィルタの電流定格は、主にそのインダクタによって決定される。過剰な電流は主に 3 つの影響を引き起こし得る:

- 過熱 —— これは、信頼性、そしておそらくは安全性に影響する
- チョーク・コアの飽和 —— 減衰率の低下を引き起こす
- フィルタされた側での電源電圧の低下

(例えば) 低エネルギーの照明やモータ駆動用のインバータも、ピーク電流が極めて高い (時には定格 RMS 値の 5~10 倍の)、正弦波からかけ離れた波形を持ち得るため、適切な定格のフィルタを選択することは単純であるとは限らない。ピーク電流がフィルタの瞬時電流容量を超える可能性があるならば、フィルタの製造業者に相談すること。

フィルタの製造業者は、過熱に関係する、RMS 電流に適用されるディレーティング曲線を公表していることがある。インダクタンス飽和曲線も与えられるかも知れない；これは電流に対するインダクタンスの低下を示し、減衰率が損なわれ過ぎないかどうかを確認するためにピーク電流に対して適用すべきである。フィルタを DC 電源で使用する場合にもインダクタの飽和を起こしやすくなる。製造業者はインダクタンス、及び／もしくはフィルタ減衰率対 DC 電流のグラフも提供できるべきである。

4.4.12 フィルタと過電圧

主電源フィルタ部品は（当然ながら）その公称動作電圧に、安全率とフィルタに損傷を与え得るトランジェント過電圧のための余裕を加えたものに耐えるべきである。正しいフィルタ選択は、それが環境で受けるかも知れないトランジェントを調査し、期待される信頼性を与えるために予期される過電圧に対処できるであろうフィルタを選択することである。稀に受けるかも知れないトランジェント電圧に応じたフィルタ部品を指定するのは高価すぎるが、それが高信頼性を達成するために重要である場合には、それら（そしてそれらのゾーンの機器）は [1] の第 9 章に示されている雷防護手段によって保護できるかも知れない。このシリーズの次のパートではこれらの落雷 / サージ防護手段の要約を示す。

4.4.13 単純なソフト・フェライト・フィルタ

特に有用な種類のフィルタは、プラスチックの「クリップ式」ハウジングに収められたソフト・フェライトの分割シリンダーである。これは後付けする（そして役に立たないことがわかったならば取り除く）ことが非常に容易であり、リボン・ケーブルのためのフラット形のものも含め、広範囲の形状や大きさのものが入手可能である。

ソフト・フェライト材料は低周波においてはそれが取り付けられたケーブルに直列インダクタンスを加えるが、高周波においては直列抵抗を加える——これは望ましくない共振の発生の防止を助ける。ケーブルの送出、及び還流経路の周囲に取り付けられた場合には CM のみを減衰させ、単一の導体の周囲に取り付けられた場合には DM を減衰させる。特にフェライトを DM 抑制に用いる場合には、飽和効果に注意すること。いかなる磁気材料とも同様にフェライトは飽和し得る——肉圧のシリンダーは、通常はある長さに対してより大きな磁束容量を示す。フェライトは高い誘電率を持つので、フェライト・シリンダーをケーブルの周囲に付け、そのフェライトを局所 RF 基準の近くに置くことは、直列イン

ピーダンスと並列容量を加える効果を持つ。フェライトについては、[1] の 8 章で詳細に扱っているのと同時に、[4] の第 3 部でも述べている。

ほとんどの EMC 技術者は、干渉問題の調査や対策のために施設を訪れる際に、様々な寸法の丸形やフラットのケーブルに合う分割フェライトのキットを携帯する。しかし、一般に、それらは 3 ~ 12dB の減衰を達成できるだけである。

4.5 施設におけるシールド

4.5.1 ゾーンのシールド

電気 / 電子機器の多くの要素は、金属の（あるいはメタライズされた）エンクロージャに収めて供給される。しばしば、そのエンクロージャをゾーン境界とし、必要なフィルタやシールド（そしてサージ防護、光絶縁、主電源高調波など）に関する全ての配慮をその機器の製造業者に行なわせることが、最も費用効果の良いものとなる。このシリーズの第 3 部 [8] がエンクロージャ境界におけるフィルタとシールドをカバーしているので、それらのテクニックはここでは詳しくは説明しない。第 3 部 [8] や [4] の第 4 部に示されているよりも詳しいことは、[1] の第 6 章を参照されたい。

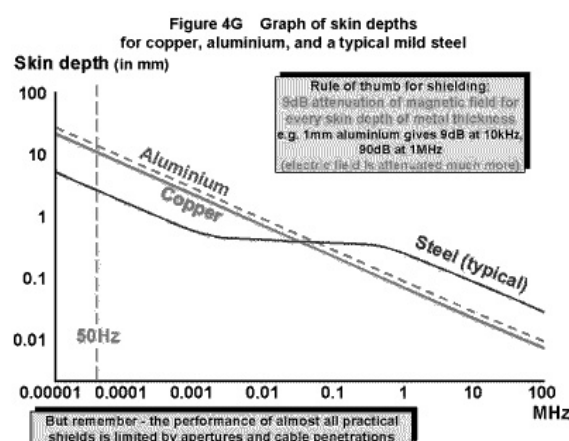
安価な大量生産品（コンピュータやそのモニタのような）が購入され、保護ゾーンに設置されて様々な環境で使用されることがある。この方針は、米軍の COTS（「commercial off the shelf」）プログラム [12] である程度の成功を収めている。

機器のエンクロージャ以外のゾーンや部屋のシールドも、エンクロージャのシールドと同一の物理法則に支配される。そのゾーンが多数の機器を含むコンソールやキュービクルである場合には、このシリーズの第 3 部 [8] を適用すべきである。保護すべきゾーンがこれよりも大きい場合については、そのシールドのための主なテクニックは以下に要約する。機器やキュービクルのエンクロージャであるゾーン境界と区別するために、「建築物シールド（architectural shielding）」という用語を用いよう。

建築物シールドは、実施しやすくも、低コストでもない。全てのシールド・テクニックは、関係する周波数の表皮深さの何倍もの厚さの継目なしの金属の壁の内側にゾーン全体を閉じ込めようとすることに基づいている。継目、接合部、配管導入部、そして特にケーブルの貫通部はシールドの弱点であり、詳細にわたる十分な注意が必要となる。

4.5.2 非常に低い周波数のシールド

非常に低い周波数 (例えば 50Hz や 60Hz) に対する「受動」建築物シールドは、コストが問題とならない高価値の軍事や科学のプロジェクトを除き、一般に現実的ではないと見られている。しかし、そのような低周波に対するシールドは、「アクティブ・ルーム」テクニックゾーン内に取り付けられた局所磁気センサで検出された磁界をゼロとするように電氣的に絶縁された金属導体の配列に低周波電流を流すオーディオ・パワー・アンプを用いる—により、良い費用効果で実施できる場合がある。



非常に低い抵抗の 3 次元 MESH-CBN は、外部の非常に低い周波数のフィールドをゾーン内で減衰させられる。これから、架空電力線の下や鉄道の近くの鉄のフレームの建物は、50/60Hz の電界をその外側におけるレベルの 1/20 にまで低減できる。しかし、架空線の電流によって発生する低周波磁界は非常に低いインピーダンスを持ち、またそのような低周波での表皮深さは非常に厚い金属面 (Figure 4G を参照) を必要とするので、これをシールドによって低減することは困難である。ミューメタルやラジオメタルは遥かに小さい表皮深さを持つが、それでも非常に低い周波数の磁界に対して良好な建築物シールドを達成するためにそれらを用いることは困難であることがわかっている。

4.5.3 10kHz 以上のシールド

周波数が高くなると表皮深さは小さくなるので、(電界と同様) 磁界に対する現実的なシールドが可能となる。

達成されるシールド効率 (SE) はそのメッシュの大きさに関係するが、MESH-CBN によって作られる 3 次元メッシュも、この周波数でのシールドではさらに効果的となる。落雷の影響からのゾーンの保護 (次の第 5 部を参照) を助けるためには、3~4m を超えない大きさのメッシュが推奨される。金属線の

入った天井や床と共に、建物のコンクリート構造内の全ての鉄筋を全ての交点や継目で電氣的に接続する (事前に計画する必要がある) ことにより、容易により小さいメッシュを達成できる。

部屋を軽量金網 (Gene Hackman と Will Smith による最近の映画、「Enemy of the State」で見られるように)、溶接されたメッシュ、あるいはエクスパンド・メタルで囲い込むことは、全ての継目がその全長にわたって接続されているならば、非常に良いシールド効率を与え得る。

ゾーンが部屋の一部である場合には、その枠組—2 層とするために両側で行なうことが望ましい—はこれらの材料とスタッドや減金とから容易に作れる。より高い導電性、より高い誘電率、あるいはより厚い材料は、いずれも低周波に対する保護を改善するために良い。開口部が小さい、より高い導電性の材料は、高周波のために良い。

4.5.4 1MHz 以上のシールド

1MHz 以上では、ごく薄い金属のシールド材でも良い結果が得られるかも知れない。「EMC 壁紙」は建築用紙で裏打ちした銅箔であり、これを平面に糊付けすることはそれほど難しくない。空気のある程度通過させられるという利点とともに、メタライズされた繊維やエクスパンド・メタルもうまく使われている。しかし、最良のシールド性能のためには継目が接続された 2 層の金属板に代わるものはなく、それがこれが大半の EMC テスト・チャンバーの基本構造である理由である。

4.5.5 開口部の処理

大きな空間のシールドにおける実際の問題は、その SE は必要な開口部—例えば、窓、扉、ケーブル導入、換気、照明、そして空調—によって常にある程度損なわれることである。偶発的な開口、特に継目なしの金属面を想定した継目の不完全性によるものも、シールドを損なう。

200MHz で 80dB のシールド効率を達成する筈の金属の部屋は、フィルタされていない照明用ケーブルの貫通によって 10dB 以下にまで、また人が指を通せる程の大きさしかない単一の穴によって 40dB にまで悪化し得る。

4.5.6 扉が問題

ケーブルの貫通以外では、ゾーンのシールドにおける最大の現実的な問題は、人や機器の出入り—扉—である。扉は、ガasketの圧縮力の累積効果のために、全て蝶番の反対側にある複数のラッチ

を動作させる3つのレバー操作の取手を必要とすることもしばしばである。適応性の低い導電性ガasketを扉の周囲全体にわたって均一に圧縮するために充分なだけ扉とフレームを正確、かつ頑丈にすることは、驚くほど難しい。電動ラッチを使おうとしないこと — 電源が切れてから何時間もしてから人がシールド・ルームに閉じ込められていることに気付く(特に大抵は助けを求める叫び声もかなり良く減衰させられるために) ことがある。

4.5.7 シールドされたエンクロージャや部屋の相互接続

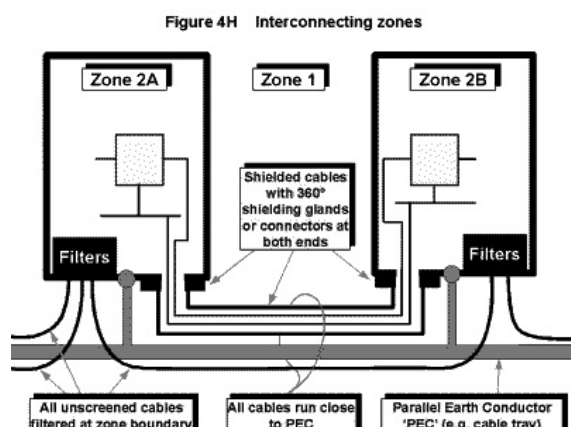


Figure 4H は、2つのシールドされたゾーンが、そのシールド効率を損なわずに、相互に、また施設の他の部分にどのように接続されるかを示している。これらのエンクロージャは、キャビネットから大きな部屋から建物全体に至る、どのような寸法であっても良い。

シールドされたゾーンに出入りする全ての遮蔽ケーブルは、そのエンクロージャの壁でのシールド・グランド(あるいはコネクタ)による360°電気的接触によって、その遮蔽を終端しなければならない。ゾーンが単純に MESH-CBN によって定められるならば高周波に対してはシールドされない(メッシュの寸法に依存する)が、例えば上の Figure 4E で示したフィルタ接続板に接続するための鞍形クランプを用いて、依然として遮蔽ケーブルはゾーン境界で接続されなければならない。

ゾーンに出入りする遮蔽なしケーブルは、ゾーン境界に取り付けられたフィルタを介してのみ入ることができる。隔壁取り付け形フィルタは、この目的のために最良である(上、及び Figure 4D を見よ)。PEC(例えば、少なくとも1つの金属のケーブル・トレイ、ダクト、コンジット、あるいは金属構造の一部)はそれぞれのシールドされたゾーンに接続されてそれらのあいだを走り、それらのあいだの電流全てを運ぶ。このシリーズの第2部 [3] の2.8章で

述べたように、これらのケーブルはその分類に応じて隔離すべきである。

(ある臨界周波数よりも下では)著しい漏洩を引き起こさない導波管を通して引き込めることから、そのような部屋のためには金属を使用していない光ファイバー・ケーブルは金属の導体よりも良い。残念ながら光ファイバーを通して充分な電力(数十ワット以上)を送ることは依然として不可能であるので、依然として AC 主電源や DC 電源のために金属のケーブルとフィルタを必要とする。

Figure 4J Example of bulkhead splitting a shielded zone into two

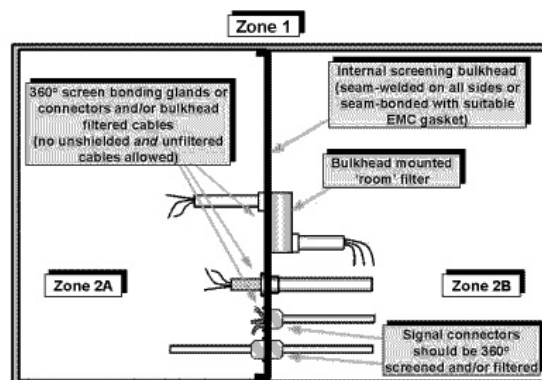


Figure 4J は、シーム溶接された金属の隔壁によって2つに分割されたシールドされたゾーンのあいだのケーブルのための相互接続テクニックを示す。

4.5.8 導波路テクニック

カットオフ以下の導波路は非常に強力なシールド・テクニックであり、[4]の第4部の4.7章でより詳細に議論している。ゾーンへの光ファイバ、マイクロ波、赤外線、そしてレーザー通信のために用いられるのと同様、これは SE を損なうことなく換気や照明を行なうためにも用いることができる。

後者の目的のためにはしばしばハニカム金属パネルが用いられ、構造の残りの部分にそのエッジの周囲で慎重にシーム溶接される。しかし、導波路はそのカットオフ周波数よりも充分に下、非常におおまかに言うとその導波路の断面の最長の寸法の4倍よりも長い波長でのみ充分なシールドを与えることを忘れないこと。

4.5.9 第三者の使用

経験的学習を享受するための時間と金を持っているのでない限り、高性能シールド・ゾーンの構築は非専門家が行なうべきものではない。最も手っ取り早いアプローチは、シールド・ルームの設計と建築を提供している多くの企業の1つにコンタクトし、そ

の全てを行なうように委託することである。その委託先が以下の内容を規定していることを確認することが、その施設のプロジェクトの管理者にとって重要である：

- 関係する周波数範囲でのシールド性能
- ゾーン内の空気と照明の品質
- ゾーンに出入りする人、品物、配管、機器、そして乗物の寸法と往来のレベル
- ゾーンに提供される電力、及び通信
- 使用する換気方法と、達成しなければならない最低の結果（例えば MIL-STD-285）
- 合意された金額と合意された時間でそれらの結果を達成することがその委託先の責任であること

検証が良好に完了するまで委託費用の相当の部分（あるいは全て）の支払いを控えることは、経験のある委託先から望ましい履行を得るための強力な方法である。彼らに経験的学習を享受させるための時間と金を持っているのでない限り、この業務に関する証明できる記録がない業者を使おうと考えさえないこと。

シールド・ルームはその扉のいずれかが開けられている時にはシールドされていないことを忘れないこと。いかに多くの人々がより快適に過ごそうとして扉を開いたままとするかには驚かされる。これがゾーンの空気の品質と空調を切り詰めるべきではない重要な理由である。

4.6 電子戦

既に述べたように、我々の社会がデータと電子機器に全面的に依存するようになるにつれて、データの保安と電子機器の信頼性がさらに懸念されるようになっている（[2]を参照）。軍は TEMPEST として知られている強力なゾーン保護プログラムを持っている。これは、現代的なコンピュータやそのネットワークの電磁妨害に対する感受性、そしてそのデータを誰でも入手できる高感度の受信機で検出できるような形で大きな地理的な領域に放射する傾向に依存する、商業、経済、そして工業における恐喝、テロ、そしてスパイ行為の増加に対抗するために、今は民事でも使用できる。

TEMPEST での使用のための主電源フィルタは 2 段よりも多くのステージを持つ傾向があり、10kHz から 1GHz にわたって確実に数十 dB の減衰を与える。TEMPEST のためのシールドは EMC 試験チャンバーに似たものとなる傾向がある。UK National Security Operatives が最近是非常に大きなフィルタ

を介して導入される単一の金属導体 — 主電源ケーブル — しか持たない EMC 遮蔽ルームでの作業を計画しているものと理解している。その部屋に出入りする全てのデータは金属を使っていない光ファイバー — おそらくはタッピングの検出のための光信号レベルを監視する敏感なデバイスを付けた — によって運ばれる。彼らが作業する際にその部屋への扉を閉めることを忘れないことを望む。

スパイのオフィスのために用意される保護の水準は大抵の状況では過剰であるかも知れないものの、毎日何億万ドル（あるいはそれ以上）もの取り引きを扱う銀行などは、実際のスパイ行為や電子テロ事件を考慮しないとしても、数時間で回復する一度のダウンタイムによって何千万も失う状況にある。原子力制御室と同様、そのような企業においては全てのものからの適切な水準の保護を財政面から判断するが、特に、構築が完了した後で追加するよりも遥かに低いコストで必要な対策を設計に組み入れられる計画段階においては、ほとんど全ての電磁的脅威に関してはその実施は困難ではない。

4.7 参考文献

- 1 "EMC for Systems and Installations", Tim Williams and Keith Armstrong, Newnes, 2000, ISBN 0 7506 4167 3.
- 2 "Just a Normal Town.", Ian Sample, cover story in New Scientist 1 July 2000 No 2245, pp 20-24.
- 3 "EMC for Systems and Installations — Part 2 EMC Techniques for Installations", Keith Armstrong, UK EMC Journal Apr 2000, pp 8-17.
<http://www.compliance-club.com> のアーカイブから入手可能。
- 4 "Design Techniques for EMC", Keith Armstrong, UK EMC Journal Jan — Dec 1999 (six parts).
<http://www.compliance-club.com> のアーカイブから入手可能。
- 5 "EMC for Systems and Installations — Part 1 Earth? What earth?", Keith Armstrong, UK EMC Journal Jan 2000, pp 15-21.
<http://www.compliance-club.com> のアーカイブから入手可能。
- 6 "Banana Skins", No.85 from Peter Kerry, UK EMC Journal June 2000, pp 8.
<http://www.compliance-club.com> のアーカイブから入手可能。

- 7 IEC 364-4-444: 1996 "Electrical installations of buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 44: Protection against overvoltages – Section 444: Protection against electromagnetic interference (EMI) in installations of buildings."
- 8 "EMC for Systems and Installations – Part 3 EMC techniques in assembly", Keith Armstrong, UK EMC Journal June 2000, pp 25-35.
<http://www.compliance-club.com> のアーカイブから入手可能。
- 9 "Choosing and Using Filters", Keith Armstrong, UK EMC Journal 1998, pp 6-10.
<http://www.compliance-club.com> のアーカイブから入手可能。
- 10 "Choosing and Installing Mains Filters", Tim Williams and Keith Armstrong, Compliance Engineering, pp 68-75.
- 11 "EMC and Signal Integrity", Keith Armstrong, Compliance Engineering European Edition, March/April 1999, pp: 24-35
- 12 "An EMC Design Approach for Integrating COTS Equipment into an Existing Military Aircraft", Edward L Kirchner and Bruce D Salati, Proceedings of the IEEE EMC Symposium, Seattle, August 1999, pp: 986-991
- 13 Verbal aside during the presentation of the paper "Protective or clean earthing – a potential difference" by Peter Smith, at the "Earthing 2000" conference, Solihull, UK, 21-22 June 2000, proceedings available from ERA Technology Ltd, phone +44 (0)1372 376000 info@era.co.uk.

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 VEF002000nifty.ne.jp (T.Sato) 宛にお送り下さい。

Last update: 2000-10-11