

# —システムと施設の EMC—

## Part 2: 施設のための 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 2 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. 制御盤などの組み立てのための EMC テクニク
- 4. 施設におけるフィルタリングとシールドイング
- 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十分な 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 2 部の目次

- 2.1 概要
- 2.2 装置と電源の隔離
- 2.3 送出電流と還流電流の経路を一緒に引き回す
- 2.4 メッシュ接続 (「接地」) ネットワーク
  - 2.4.1 何故一般にスター接続は良いプラクティスでないか
  - 2.4.2 MESH-CBN
  - 2.4.3 環状接続導体 (BRC)
  - 2.4.4 ボンディング・マット
  - 2.4.5 絶縁されたメッシュ接続ネットワーク (MESH-IBN)
- 2.5 ケーブル遮蔽の両端での接続

\* Cherry Clough Consultants, Associate of EMC-UK

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

- 2.5.1 何故ケーブル遮蔽の片端での接続は一般に良いプラクティスではないのか
  - 2.5.2 CBN が貧弱な場合には何ができるか？
  - 2.5.3 製造業者が片端での遮蔽接続を指示している場合
  - 2.5.4 安全規格がこれらの EMC テクニックの使用を禁じている場合
- 2.6 PEC の種類
- 2.7 ケーブルの保護外装の接続
- 2.8 ケーブルのクラス、隔離距離、そしてケーブルの引き回し
  - 2.8.1 ケーブルのクラス
  - 2.8.2 隔離距離
  - 2.8.3 ケーブルの引き回し
- 2.9 シールド・キャビネットの相互接続
- 2.10 参考文献

## 2.1 概要

これは BS IEC 61000-5-2:1997 [2] の配線や接地に関する要求の簡単な梗概である。電磁環境両立性 (EMC) は電源周波数を含む全ての電磁現象に関係し、従ってこれらの EMC テクニックは「グラウンド・ループ」問題を防止してアナログやデジタルの良好な信号インテグリティを達成することも助ける。結果として、ここで述べるテクニックは EMC 指令への適合を助けるとともに、通常は開発と稼働開始の期間を短縮し、また確実な動作の保証を助ける。それが必要とする余計な時間と費用は、そのテクニックが適用されてすぐに現れる大きな節約とともに、後での節約と、商業的なリスクの低減をもたらす。これらのテクニックの一部は、設計者や設置業者の一部が「伝統的」、あるいは「慣習的」な手法として尊重しているであろうものと矛盾する。

この論文は、建物などの施設の内部で用いるための現代的な EMC テクニックのいくつかについての単なるガイドとして扱うべきである。これは、次のようなものはカバーしない：電磁環境のアセスメント；機器の仕様、設計、組み立て、あるいは検査；フィルタ；遮蔽；雷防護やサージ抑制；EMC の欠落が施設の動作や適合性の問題を引き起こさないことを保証するための役を演じるもの全て。外部のサービスや通信はここではカバーされない。この第 2 部の多くの部分は参考文献 [3] から取られた。

## 2.2 装置と電源の隔離

施設の装置とその電源は、プロジェクトの最初から地理的に隔離されたグループに整理されているべきである。これを初期に行なっておくことは容易であり、後での莫大な時間と費用を節約できる。装置は高電圧 (HV、AC 33kV 以上)、中電圧 (MV、AC 1kV ~ 33kV)、及び低電圧 (LV、AC 1kV 未満) に分類されるべきである。低電圧機器は、少なくとも「ノイジー」であるか「敏感」であるかに、EMC のより強い管理が必要であればより細かいカテゴリーを用いて分類すべきである。

ノイジーな機器の例には次のようなものが含まれる：可変速モーター・ドライブ；金属やプラスチックの電気溶接機；電気化学プロセス用の電源整流システム；ラジオ、テレビ、そしてレーダーの送信器；そして電力変換器。敏感な機器の例には次のようなものが含まれる：ラジオ、テレビ、そしてレーダーの受信器；温度、流量、重量、pH、湿度、圧力などの計装；陰極線管ディスプレイ (CRT)；誘導ループ・オーディオ・システム；そしてコンピュータや PLC などのプログラム可能な電子システム。

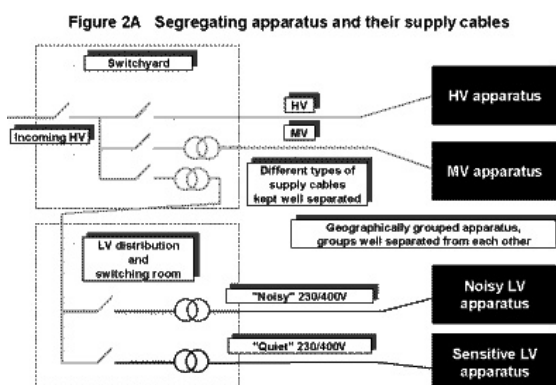


Figure 2A はそのような隔離の例を示す。

異なった分類の装置はそれぞれ独立に引き回される異なった別の配電網から給電されるべきであり、2つ (あるいはそれ以上) の分類の低電圧機器は理想的には異なった配電変圧器から給電されるべきである。

異なった分類の装置は互いに十分に離す (センチメートルではなくメートル) べきであり、それぞれに関係する全てのケーブルは互いに十分に離して引き回すべきである。キャビネットがノイジーな機器と敏感な機器の双方を含む場合には、その一方が他方に干渉しないように製造業者が内部隔離を実施していることが期待される。

例えばフォークリフト・トラック充電ステーションとコンピュータ・ルームやファイル・サーバー・ルームが近接している場合、充電が CRT ディスプレイ、及び / もしくはコンピュータ・システムの動作に干

渉する可能性がある。初期設計段階においては、これらの設備を十分に離れた場所に配置することは容易であり、費用もかからない。稼働開始に際して（あるいはその後）干渉問題が発見されたならば、いずれかの設備とその配線を他のものから十分に離すように移動するためのかなり多額の費用も、引き起こされた遅延に伴う失われた生産によって小さく見える程になる。

食品産業においても、（敏感な）検量器や金属検出器がプラスチックのバッグやカートンを封止するための（ノイズな）高周波プラスチック溶着技術を用いた梱包装置の近くに置かれた際に、同様の問題が起こり得る。最初から設計に組み入れられていなかったならば、その梱包装置と他の機器とのあいだに必要とされる距離は、莫大な費用をかけてその製造ラインを再構成せずに達成することはできないかも知れない。

## 2.3 送出電流と還流電流の経路を一緒に引き回す

いかなる負荷に関連する電流の送出と還流の経路も、できる限り近付けて一緒に引き回すべきである。ツイスト・ペア、3つ撚り、4つ撚りなどが最良である。バスバーはソリッドな誘電体の薄い層によって隔てるのが最良である。非常に太い独立したケーブルは、少なくとも（他の物理的な制限を完全に考慮しながら）可能な限り近くに敷設すべきである。

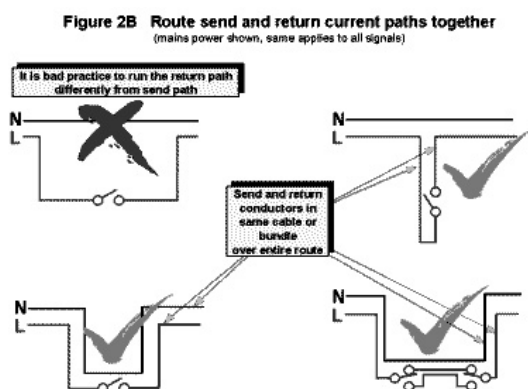


Figure 2B は、一方の導体にスイッチ、例えば屋内照明回路の手動スイッチや制御盤のリレーやコンタクトが接続される場合の、推奨される、そして推奨されない引き回しを示す。

このテクニックは、差動モードとコモン・モードの双方の、そのケーブルと電磁環境との磁界や電界の結合を低減する（第1部を見よ）。Figure 2B は電源の例を示しているが、ケーブルが微弱なトランスジューサ信号から高速データ、そして大電力に至る

どのような電気信号や電力を運ぶとしても、このテクニックはエミッションとイミュニティの双方の理由から極めて重要である。

EMC のためにケーブルを遮蔽することは、送出導体と還流導体の双方が単一の遮蔽の内側に含まれているのでない限り、あまり役に立たない。送出電流と還流電流の経路の物理的な平衡が良くなり、またそれが運ぶ信号間の電氣的な平衡が良くなると、そのケーブル（遮蔽されているかどうかにかかわらず）の電磁的な性能も良くなる。（遮蔽ではなく）ツイスト・ペアがトランスジューサの + と - の信号を運ぶという遮蔽ツイスト・ペア・ケーブルの賢い使い方をしていない限り、トランスジューサ信号は多くの現代的なシステムからの干渉によって酷く妨害されるであろう。

電力ケーブルも送出導体と還流導体の近さによる利益を得る。デルタ結線された3相システムにおいてはこれは3相のみに関係するが、スター結線システムにおいては3相全てに加えてその中性導体にも関係する。鉄鋼圧延ミルの主直流モータに給電するもののような非常に大電力の電力ケーブルは、近付け過ぎて配置されるとそれらの導体が（それらの磁界の相互作用によって発生する電磁力による）強い機械的ストレスを受けることがあり、これはその絶縁に損傷を与えることがある。空気絶縁の高電圧ケーブルも、導体間の放電を防止するために相当の距離を離しておかなければならない。

上の双方のケース、また電源送出導体と還流導体が近接してほぼ同一の経路を辿らない場合には、その付近に高レベルの電界や磁界が発生し、近傍の電子機器の動作を妨害する可能性を受け入れなければならない。例えば、送出導体と還流導体が広く離れた近傍の電力ケーブルからの磁界による CRT ディスプレイのイメージ安定性の問題がしばしば発生している。

非常に大きな電流を運ぶケーブルにおいて、このテクニックによる問題が発生することがある。その強力な磁界によるケーブル上の電磁力がその導体に非常に強い機械的な力を与えることがあり、その絶縁を極度に短期間で摩耗させることがある。この理由のために電力導体を離さなければならない場合、それらのケーブルをいかなる敏感な電子機器からも十分に隔離することが非常に重要である。そのような強力な磁界（これは容易に計算できる）が存在する場合、職員や第三者を健康被害から守るために人体暴露限度についても確認すべきである。

## 2.4 メッシュ接続（「接地」）ネットワーク

### 2.4.1 何故一般にスター接続は良いプラクティスでないか

かなり昔には、施設における干渉問題の大半は 50Hz のものであり、スター接続テクニックを用いて 循

環電流（「グランド・ループ」）を管理することが可能であった。今日では、環境は数千 MHz に達する周波数で高度に汚染されており、日につれてさらに酷くなっている。同時に、電氣的通信で用いられる信号は 30MHz 以上にまで広がっている。今日普通に用いられている周波数においては、相互インダクタンスやキャパシタンスによる浮遊結合は、その経路の少なくとも一部が空気や絶縁体を通る循環電流を発生する。これはスター接続では効果的に管理することができない。浮遊結合については、このシリーズの第 1 部を参照されたい。

このため、我々は（一般には）スター「接地」接続を用いることができず、その反対のもの、メッシュ接続を採用する必要がある。（部分的にメッシュ接続された中途半端な建物は、通常は双方の問題を持ち、またいずれの利点も持たない。）メッシュ接続にもその欠点があるが、現代的な環境と技術に対するスター接続の欠点には現実的な方法では対処できないのに対して、それに対処することは可能である。

## 2.4.2 MESH-CBN

Figure 2C The meshed common bonding network (MESH-CBN)  
Use closer meshes where greater control of voltage is required for 50/60Hz EMC, or EMC at higher frequencies, e.g. heavy power, instrumentation, computers

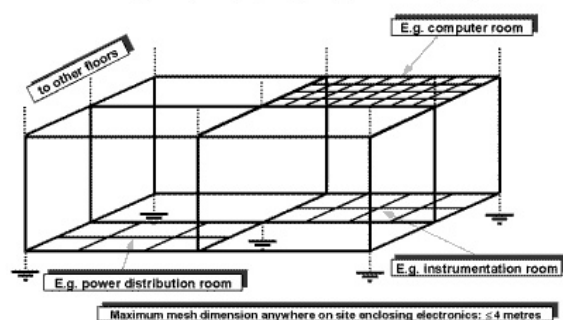


Figure 2C は固定施設に推奨される共通接続スキーム、しばしばメッシュ接地と呼ばれるものを示している。これは 50Hz から高周波（平均メッシュ寸法に依存する）までで低インピーダンスを達成し、これはコンピュータやテレコムなどを含むハイテクノロジー機器を収容する現代的な施設のための重要な要素である。

[4] ~ [10] はしばしば俗に接地構造体と呼ばれる共通接続ネットワーク (common bonding network) に略語 CBN を用いており、3次元メッシュ CBN を MESH-CBN と呼んでいる。これが私がこれ以降で使用する用語である。

大電流機器は、漏洩電流や故障電流に際しての過大な電位差を防止するために近接したメッシュを必要とする。高周波機器（コンピュータやテレコム機器など）も、その CBN のインダクタンスによる電位

上昇を防止するために小さいメッシュ寸法を必要とする。敏感な計装機器は、広範囲の周波数にわたる CBN の電位差の影響を受けやすいために、しばしば小さいメッシュ寸法を必要とする。

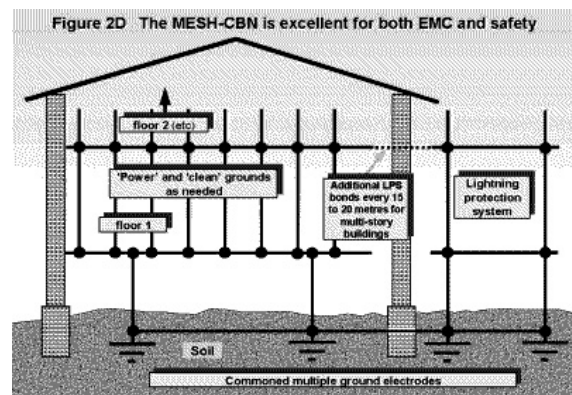


Figure 2D は現代的な MESH-CBN の概念の別の視点を示し、それが雷防護システム (lightning protection system; LPS) やその接地電極システムにどのように接続されるかを示す。

CBN をメッシュ状にすることは機器の雷サージによる損傷からの保護を助け、サージ防護デバイス (SPD) はそれが低インピーダンスの CBN に接続されているならばより良く機能する。雷防護（エネルギーの大半が 10kHz 以下の周波数となる）のためには、一般に、サイトのどの部分の CBN のメッシュ寸法も、全ての方向で 3m、ないし 4m を超えないことが推奨される。

Figure 2E Mesh CBNs: bonding 'natural' metalwork

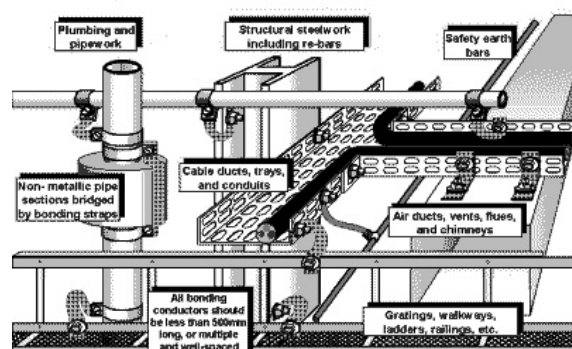
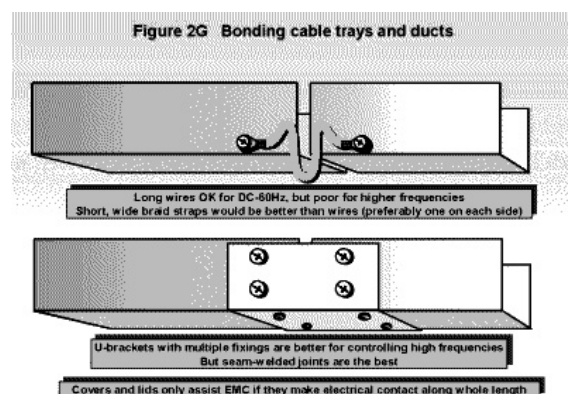
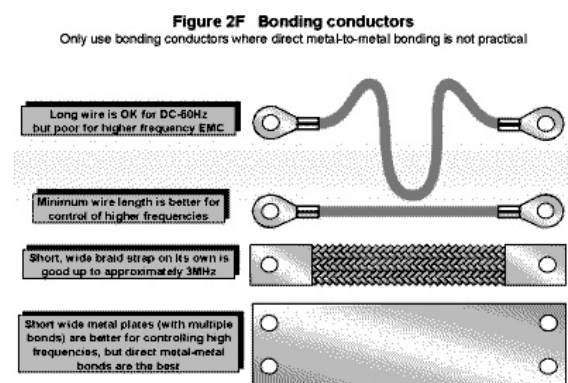


Figure 2E に示すように、MESH-CBN の構成を助けるために、鉄筋、梁、鉄骨などの自然金属構造体と呼ばれるもの、そしてその他のどのような金属構造体をも用いることが推奨される。

接続は理想的には金属と金属によるべきであり、シーム溶接が最良である。Figures 2F と 2G に示すように、高周波性能の低下と引き替えに、その代わりに短い導体を用いることができる。

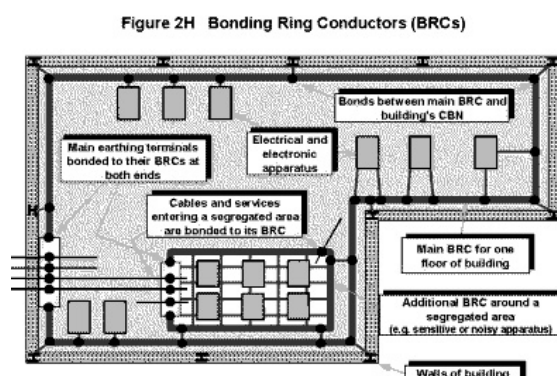


極限的な環境にもかかわらず機能し続けるために高インテグリティのシステムが必要な場合 (特に原子力や軍事のコントロール・ルーム)、金属の床や壁、あるいはシーム溶接された金属の部屋さえもが現実的な選択肢となるほど、CBN のメッシュ寸法を小さくする必要があるかも知れない。

### 2.4.3 環状接続導体 (BRC)

構造のそれぞれのレベルの MESH-CBN が、少なくとも最大の故障電流を扱える、充分な断面積の環状接続導体 (bonding ring conductor; BRC) を持つことが推奨される。導入されるケーブルや、空気 / ガス / 水道パイプ、換気ダクトなどの金属配管は、それ自身が BRC の一部を構成する、BRC に両端で接続されている単一の主接地端子に接続すべきである。信号や電源のラインのように、直接の接続が現実的でない場合には、主接地端子と物理的に同じ位置でサージ防護、かつ / もしくはフィルタする必要があるかも知れない。主接地端子は、フィルタを正しく接続できる (第 4 部を見よ) ように大きなプレートとする必要があるかも知れない。Figure 2H は建物の 1 つのフロアの BRC の例を示す。

Figure 2H が示そうとしている一般的な概念は、関係する領域、少なくとも建物のそれぞれのフロアやそれぞれのレベルの構造の周囲を BRC が走り、それぞれの装置に単一の短い接続導体で接続される (そして電源導体を常にこの接続導体に物理的に非常に近接して引き回す) というものである。装置が



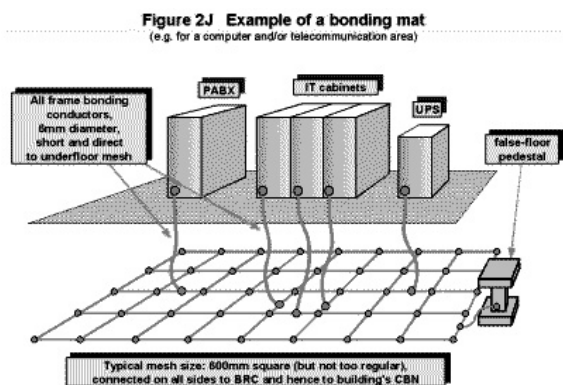
BRC からある程度離れなければならないのであれば、BRC への接続のインダクタンスを低減するために、互いに大きく離れた 2 つ、もしくはそれ以上の接続導体を用いるべきである。BRC の構成に関する詳細は、[4] ~ [9] で見られるであろう。

Figure 2H に示すように、特にノイズな、あるいは敏感な装置のより良い管理のために、フロアやレベル内の領域 (例えば、コンピュータや測定器のある領域) の隔離が必要となることがある。特に IEC 雷防護規格においては、そのような隔離領域はゾーンと呼ばれることがある。ゾーンは、導入される全てのケーブルや配管が接続、サージ防護、及び / もしくはフィルタされる、それ自身の主接地端子を持つであろう。そのようなゾーンはしばしば小さいメッシュ寸法の CBN を持ち、また以降で述べるような「ボンディング・マット」を必要とすることもある。

(古い施設を更新する場合にしばしば起こるように) ケーブルや金属配管がフロアやゾーンにその主接地端子から離れた場所から入ることが必要であれば、それはその代わりにそれが横切る BRC に接続する (あるいはサージ防護、及び / もしくはフィルタする) べきである。しかし、それは理想的な状況ではなく、問題が発生したならばそのケーブルや配管を引き直す必要があるかも知れないことを認識しておくべきである。

### 2.4.4 ボンディング・マット

IT (情報技術) やテレコムで今は普通に用いられている高周波のため、IT やテレコムのシステムが占有する領域全体にわたる局所基準電位の管理が非常に重要となっている。私は、今、インターネット・サーバー製造業者の一部が、相互接続されたコンピュータが占有する領域全体で、関係する全ての周波数で 15mV 未満の最大接地電位差を規定しているものと理解している — 満足させることが困難な仕様である。その環境が高レベルの高周波妨害の



影響を受ける場合、局所基準電位プレーンの管理は計装やオーディオのシステムなどのような低周波電子機器の正しい動作のために重要となるかも知れない。

ボンディング・マット (システム基準電位プレーン、あるいは SRPP と呼ばれることもある) は、足に優しくも布で作られているのでもなく、従って実際には全くマットではないにもかかわらず、局所基準電位を改善する手段にしばしば与えられる名前である。Figure 2J は普通の構造を素描する。

典型的には、これらの接続「マット」は銅線や lightning tape の 600mm の格子のメッシュを用いており、コンピュータの床下に設置され、機器のキャビネット・フレームに 500mm 未満の  $6\text{mm}^2$  の断面積のケーブルで接続されている。ボンディング・マットとして、コンピュータの床の金属の補強構造材や、金属で覆われたコンピュータ床タイルを使用できる場合もある。それぞれのボンディング・マットはその周囲に BRC を必要とする。

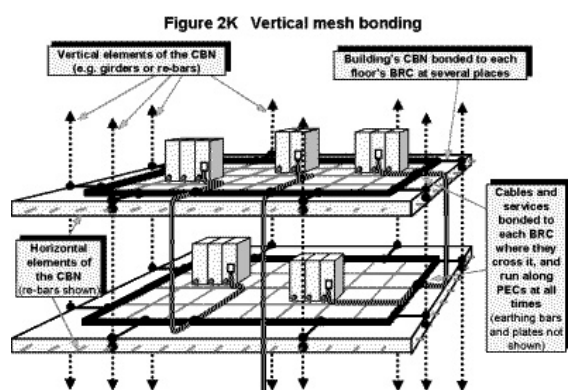


Figure 2K は、IT やテレコムのための多層の建物の MESH-CBN がどのように設計され得るかを示す。それぞれのフロアは BRC とボンディング・マットを持ち、それらは全て、可能であれば「自然」金属構造 (鉄筋のような) を使い、そのメッシュが大きすぎる場合には金属構造や接続導体を追加しながら、建物の MESH-CBN の他の部分と水平と垂直の双方に相互接続される。

それぞれの用途で異なるであろうものの、Figure 2K で示したような 600mm のメッシュのボンディング・マットは、コンピュータ設備全体で接地電位差が 1V を超えないことという、古い IBM の規定を達成することができるであろう。しかし、より良い管理、及び / もしくは高い周波数が必要な場合 (例えば、その規定が 15mV であり、また通信が 30MHz に達する周波数—これは 100Mbit や Gigabit Ethernet での典型的な値である—を用いる場合)、メッシュの寸法をかなり小さくする必要がある—金属板が最良である—かも知れず、またフレームの接続をかなり短くする必要があるかも知れない。用途によっては、シーム接続された金属の床を設置し、機器のキャビネットをその金属の床の上に直接立て、それらを各コーナーごとに、あるいはキャビネットの周囲の 300mm ごとに非常に短いストラップで床に接続することさえも、非現実的ではない。

NAVAIR AD 115 [11] は周波数に対する網組接続ストラップの効果に関するいくつかの良いグラフを含んでおり、1 個の 9 インチの長さの網組ストラップは 10MHz 以上では機器の金属プレーンへの接続のためには役に立たない (あるいは逆効果でさえある) ことを示している。30MHz 以上の周波数である程度信頼できるマット接続を与えるためには、1 個の 2 インチの長さのストラップが必要となる。互いに広く離された複数のストラップの使用は、より長いストラップが 30MHz において効果的なマットへの接続を与えることを可能とする。しかし、ケーブル遮蔽を両端で接続すること、そしてケーブル・トレイやダクトを両端で機器のキャビネットに接続すること (いずれもこの後の章で議論する) も、多数の並行接続経路を与えることによって局所基準電位の改善を助ける。

#### 2.4.5 絶縁されたメッシュ接続ネットワーク (MESH-IBN)

古い建物はしばしば良い MESH-CBN を持っておらず、マイナーな変更や更新のみが必要な場合にそれを作ることは高価過ぎるものとなり得る。一部の専門家や規格は、そのような建物への IT やテレコム、そしてその他の新しい電子機器の追加のために、絶縁されたメッシュ接続ネットワーク (MESH-IBN) の使用を推奨している。

MESH-IBN は、建物の接続ネットワークの他の部分から、少なくとも 10kV の絶縁を持つべきである。それはそれ自身の BRN を持ち、その主接地端子を建物や構造材の他の部分への「単一接続点 (single point of connection; SPC)」とする。全てのケーブルや金属配管は SPC に接続 (あるいはサー



シ防護、及びノもしくはフィルタ) されるが、この場合には例外は許されず、いかなるケーブルや金属配管も他の箇所から入ってはならない。この理念は、建物の他の部分の管理されていない電流の、新しい MESH-IBN によって作られる「クリーン・エリア」への侵入を防止することである。

MESH-IBN は最初に設置された時には非常に良く働き得るものの、落雷やサージに対する人体の保護に配慮して設計しなければならない。安全上の理由から、MESH-IBN に接続された何らかの機器と、異なった「接地」に接続された何らかの機器や構造材とを誰かがブリッジすることが、設計によって不可能とされていなければならない。このことから、MESH-IBN は、例えば仕切りを取り除き、あるいは広い通路を狭いものに変えて端子の列を追加することのある「職人」によって非常に傷つけられやすい。

MESH-IBN は、それがその新しい領域の絶縁を損なうことに気付かずに、データや電力のための銅のケーブルを2つの領域や部屋のあいだに、あるいはフロアのあいだにさえ通そうと決断することのあるテクニシャンや技術者によっても非常に傷つけられやすい。そのような追加されたケーブルは、感電、及びノもしくは火災の深刻なリスクを引き起こし得る。

従って、MESH-IBN の概念や要求を完全に理解している人々によって電氣的絶縁の 100% の管理が行なわれると確信できるのでない限り、おそらく MESH-IBN は避けることが最良である。

## 2.5 ケーブル遮蔽の両端での接続

現代的な電子技術は、通常はケーブル遮蔽を局所 RF 基準（「EMC 接地」）に 360° 接続する（すなわち、その全周で電氣的に接続する）必要がある、高い周波数を使っている。高速な、あるいは敏感な信号のためには、その局所 RF 基準は通常は関係する電子ユニットのシールド・エンクロージャとなる。

その両端の機器の電位差によって引き起こされるケーブル遮蔽中の過大な電流は、全てのケーブルをケーブルの遮蔽よりもはるかに低い抵抗（はるかに大きい断面積）を持つ並行接地導体（parallel earth conductors; PEC）に沿って走らせることによって無視できる程度まで低減させられる。

機器間の電位差は多数の原因で発生するが、CBN のインピーダンスを下げればその全てが低減され、これは何故上で述べたように 現代的な施設のために一般にメッシュ接続された CBN が推奨されるかの理由の1つである。

CBN を流れる電源電流（通常は 50Hz）は電位差を上昇させ、計装やオーディオのシステムに「ハム」を引き起こす。近傍での落雷や高電力トランジェント事象（大きな負荷のスイッチングや、ケーブルや機器の地絡）によるサージは CBN の部分間の一時的な電位差を引き起こす。これらはいずれも比較的 low 周波数であるので、その電流は通常は様々な経路を与える抵抗に従って分割され、従って低抵抗の PEC の存在は両端で接続されたケーブル遮蔽中の電源やサージの電流が（決してなくなりはないものの）許容できる程度に低減されることを保証する。

遮蔽ケーブルは、片端での遮蔽接続によって伝統的に達成されていたものよりもはるかに高い EMC シールド性能を持つことができる。ケーブル遮蔽を正しく終端してその EMC 性能を最大にするためには両端での 360° 接続が必要であり、これはシールド・コネクタや「EMC」ケーブル・グランドを用いて達成できるかも知れない。鞍型クランプ、P クリップ、あるいは類似のものは、関係する周波数が低く、あるいは必要な EMC 性能が非常に高くない状況では許容できる代替手段であるかも知れない。第3部ではこのトピックをより詳しく述べる。

「ピグテール」（遮蔽を接地に接続するためにワイヤを用いたもの）では、遮蔽ケーブルは正しくシールドすることはできない。実験では、25mm のピグテールでさえも、70MHz という（今日においては）低い周波数においてさえもケーブル遮蔽を台無しにできることが示されている。

電源磁界によって引き起こされる循環電流を最小とするために、ケーブルは常に PEC の近くに保つべきである。非常に長いケーブル、あるいは高度に汚染された電磁環境（例えば強力な無線送信器や電車操車場などの高帯域干渉源が近傍にある場合）のためには、ケーブルの遮蔽や保護外装を 10m 程度ごとに露出させて PEC に接続することが必要となるかも知れない。

### 2.5.1 何故ケーブル遮蔽の片端での接続は一般に良いプラクティスではないのか

昔は大抵そうであったように、良い MESH-CBN（上で述べたような）が存在しない場合、CBN の異なった部分での電位差による「ハム・ループ」問題を防止するためにケーブル遮蔽を片端のみで接続することが伝統であった。

遮蔽ケーブルから得られる貧弱な EMC 性能のため、特殊な環境を除いてはこのテクニックはもはや有効ではなく、現代的な電子機器の高い周波数と感度によって益々両立性がなくなっている。

長いケーブルの遮蔽が片端のみで接続されている際にしばしば見落とされる点は、地絡や落雷サージに

際して遮蔽が終端されていない側に全てのサージ電位が集中し得ることである。これは、引き続き火災の危険とともにフラッシュオーバーを引き起こすことがあるが、電子機器に実際の損傷を引き起こし、オペレータや保守要員に感電の危険を与える可能性はさらに高い。

地絡や落雷の観点からは、接続されていない側でのサージ電圧を安全なレベルに制限するためのサージ防護手段が備えられているのでない限り、「ハム・ループ」問題を防止するために長いケーブルの遮蔽を片端で接続することは通常は正しくない。(例えば、10Base-5 Ethernet はそのケーブル遮蔽を一点のみで接地するように設計されているが、危険なサージ電圧がもたらされる可能性があるならば他の箇所での電位を安全なレベルに制限するためにサージ防護デバイスを取り付けるべきである。)

## 2.5.2 CBN が貧弱な場合には何ができるか？

良質の低抵抗 MESH-CBN がない場合 (古い建物を改装する際の普通の状況)、(おそらくは大きな) 故障電流を扱えるだけの断面積を持つ、新しく敷設した PEC に沿って全てのケーブルを走らせることができるかも知れない。勿論、PEC として機能するためには、その全ての継目が、そしてその両端と局所的な CBN (通常は機器のキャビネットの壁やモーターのフレーム) とが電気的に接続されていなければならない。

その代わりに、サージ防護、及び / もしくはフィルタ手段を使用できるかも知れないが、(サージ防護やフィルタには、単にデバイスを接続するよりも多くのことがあることを理解して) 適切な施設安全規格に適合するように十分に注意すべきである。

CBN が貧弱であり、また多数の PEC を設置したくない場合に使用できる最良の手法は、その送信器や受信器がその用途のために十分な EMC 性能を持つことを確認した上で、全ての信号やデータのために光ファイバ (金属を使用しないタイプのケーブルを用いる)、赤外線、あるいは無線通信を用いて、20kV、あるいはそれ以上に対する完全な電気的絶縁を達成することであろう。

## 2.5.3 製造業者が片端での遮蔽接続を指示している場合

片端のみでのケーブル遮蔽接続は、ある機器製造業者の電子機器のユニット間が適切にフィルタされた低周波信号を用いて接続されている場合には、EMC の点でも許容できるかも知れない。残念ながら、普通のアナログ計装回路が数百 MHz の周波数に曝された際にいかに激しく誤差を生じることに

なるかは認識されていないことがあり、計装機器によっては EMC 問題に煩わされることなく片端での遮蔽接続を可能とするために必要なフィルタを欠いていることがある。

EMC 上の理由から両端でケーブルを接続することが必要であるもののそれが製造業者の設置指示に違反する場合に有用かも知れない設置手段は、絶縁された二重遮蔽ケーブルを用い、外側の遮蔽を両端で接続し、内側の遮蔽を製造業者の指示に従って繋ぐことである。

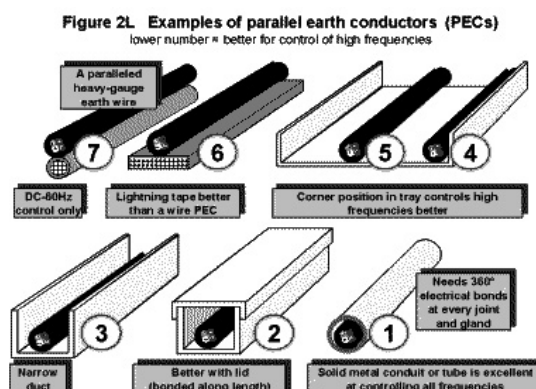
## 2.5.4 安全規格がこれらの EMC テクニックの使用を禁じている場合

爆発性の気体などのための安全規格や施行規則のいくつかは、メッシュ接続、あるいはケーブル遮蔽の両端での接続を禁止しているものと理解される。明らかにそれらの安全規格には従わなければならない、これがその結果として十分な EMC の達成をより困難にする可能性がある (特に現代的な電子技術も用いられているような場合に) ことを意味するならば、それは不可避である。

赤外線や金属なしの光ファイバを用いて全てのデータや信号の電気的絶縁を達成することは、しばしばそのような状況で使用できる良いテクニックとなる。この種のプロジェクトは、ここで議論していない、その他の EMC テクニックを使用する必要もあるかも知れない。

## 2.6 PEC の種類

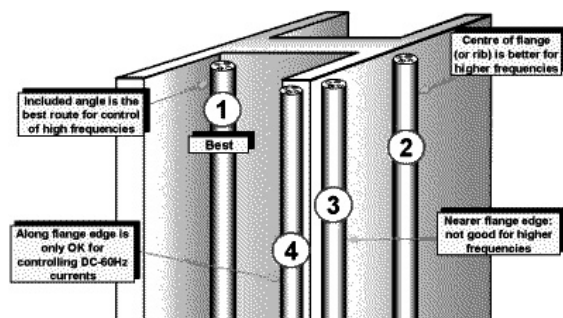
Figure 2L、2M、2N、及び 2P は、太いワイヤ、帯金、トレイ、ダクト、コンジット、鉄骨を用いた、いくつかの種類の PEC と、それらに沿ってケーブルをどのように走らせるのが最良であるかを示している。



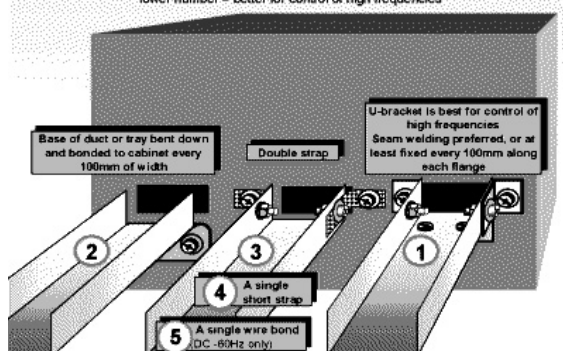
適切に構成された MESH-CBN のどの部分でも PEC として用いることができ、ケーブルをその全長にわたって同じ種類の PEC に沿って走らせるこ



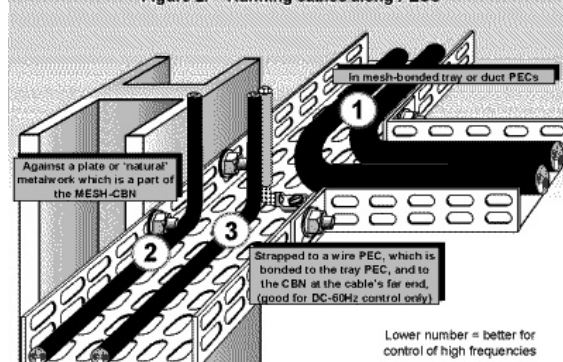
**Figure 2M Using structural members as PECs:**  
Example of an I-beam. Lower number = better for control of high frequencies



**Figure 2N Methods of bonding cable duct PECs to cabinets**  
Lower number = better for control of high frequencies



**Figure 2P Running cables along PECs**



とが最良である。勿論、PECはそのケーブルが入る機器のキャビネットに両端で接続されていなければならない。それらは、その全長にわたる全ての継目で効果的に接続されなければならない。

少なくともそれに括り付けられた補強ワイヤの PEC を持たない限り、ケーブルは「空中を渡る」べきではない。

安全上の理由から、PEC はそれが曝される可能性がある最大の故障電流を取り扱える能力を持つべきである。緊密にメッシュ接続された共通接続ネットワークにおいては、故障電流がとることのできる経路が常にいくつもあるので、粗いメッシュのシステムやスター接続システムよりもこの電流は小さくなるであろう。

これらのスケッチが示そうとしているように、ある種の PEC は高い周波数で他のものよりも低いインピーダンスを（従ってより良い性能を）与えるであろう。

## 2.7 ケーブルの保護外装の接続

ケーブルの保護外装は常に両端で接続され、PEC として振舞うべきである。ある種のケーブルの保護外装は低周波でかなりのシールドを与え、ケーブルが低周波に対する保護のみを必要とする場合には、その保護外装を両端で接続して遮蔽を片端のみで接続することが許容できるかも知れない。

## 2.8 ケーブルのクラス、隔離距離、そしてケーブルの引き回し

低電圧ケーブル (AC 1kV 未満) は少なくとも 4 つのクラスに分けられ、それぞれのクラスは同じクラスのケーブルのみと束ねられ（あるいは近接し）、異なった経路に沿って引かれる。ケーブル・クラスは理想的には互いに交差すべきではないが、交差しなければならない場合には直角に交差すべきである（そして、1 つよりも離れたクラスのあいだには何らかの追加の金属シールドが必要となるかも知れない）。

### 2.8.1 ケーブルのクラス

ここでは、4 段階のクラスに基づいた低電圧ケーブルの分類システムの例を示す。BS IEC 61000-5-2:1997 は、3 番目のクラスが「EMC 中立」と呼ばれるものである、5 段階のクラスのシステムを記述している。私は EMC に関して真に中立であるどのようなケーブルも想像することも困難であることに気付いたのでこの中立クラスを除いたが、この章の後で示す隔離距離に依然としてその影が見られる。

クラス 1 は非常に敏感な信号を運ぶケーブルのためのものである。ミリボルト出力のトランスジューサや無線受信アンテナなどの低レベルのアナログ信号はクラス 1A に含まれる。Ethernet などの高速デジタル通信はクラス 1B となる。それらの束を互いに近接して引いても良いものの、クラス 1A と 1B は一緒に束ねるべきではない。

全てのクラス 1 ケーブルは、その全長にわたって、完全に 360° 遮蔽が維持された、完全に遮蔽されたケーブルとコネクタを用いるべきである。Ethernet や類似のデータ・ケーブルのために遮蔽なしのツイスト・ペアが普通に用いられているが、通常は、それ以外は同一の仕様の遮蔽付きツイスト・ペアと同等のデータ速度や EMC を達成できるほど良いものではない。

クラス 2 は、通常のアナログ信号（例えば 4 ~ 20mA、0 ~ 10V、そして 1MHz 以下の信号）、低速デジタル通信（例えば RS422、RS485）、そしてデジタル（すなわち ON/OFF）入出力（例えばリミッ

ト・スイッチ、エンコーダ、制御信号) などの、やや敏感な信号のためのものである。

クラス 3 は、「ノイジー」な装置に給電しない低電圧 AC 配電 (1KV 未満) や DC 電源 (例えば 48V テレコム用電源) などの、やや干渉性の信号のためのものである。ノイジーな機器にも供給する配電は、フィルタの正しい適用 (簡単な演習ではない) によってクラス 4 からクラス 3 に変換できるかも知れない。

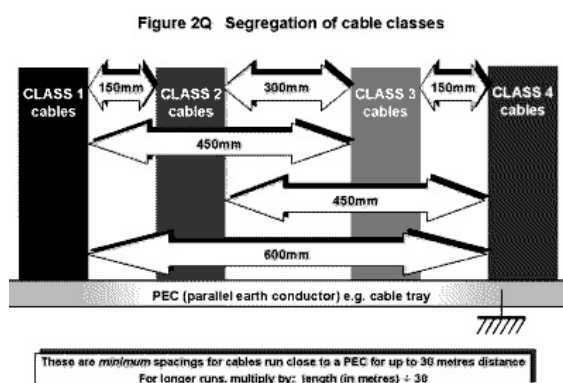
クラス 3 は、次のようなものも含む: 抵抗性負荷や負荷端で抑制されている誘導性負荷を伴う制御回路 (例えばリレー、コンタクト、ソレノイド、アクチュエータ、バルブなどの巻線); DOL モータ; 「スパークレス」DC モータと呼ばれるもの; そして製造業者の詳細な指示に従って「正弦波出力フィルタ」が正しく取り付けられたインバータ・ドライブからのモータ・ケーブル。

クラス 4 は強度の干渉を生じる信号を運ぶケーブルのために確保されている。これは、可変速モータ・ドライブや電源変換器への全ての電力入出力や、それらの DC リンクを含む。クラス 4 は、電気溶接機、RF 機器 (例えば、プラスチック熔着機、木材接着機、温熱治療機、マイクロ波乾燥機やオーブン)、DC モータやスリッピング、そして類似の「ノイジー」な装置に関連するケーブルも含む。RF 送信アンテナや、抑制されていない誘導性負荷へのケーブルも、クラス 4 となる。可能な限り、全てのクラス 4 ケーブルには遮蔽されたケーブルとコネクタを用いるべきである。

クラス 5 と 6 は、それぞれ MV と HV の配電ケーブルのために確保されている。空気絶縁の高電力バスバーや高電圧配電は、それ自身を遮蔽することはできないので、近くにある他のケーブル・クラスを追加のシールドや非常に大きな間隔によって保護する必要があるかも知れない。保護外装は遮蔽としても用いるべきであるが、その効果的な使用は全ての継目と終端での確実な 360° 電気的接続手法を要求し、そうしてさえも (そのために特別に設計されたいくつかの種類の保護外装もあるものの) 保護外装は通常は高周波においては非常に良い遮蔽は与えない。

## 2.8.2 隔離距離

Figure 2Q は、共通の PEC の近くに保持された 30m の長さのケーブルに基づいた、ケーブル・クラス間の推奨される最小間隔を示している。長く並行した線には、それに比例した大きな間隔を用いるべきである。ケーブルは理想的には PEC の 25mm 以内に保つべきであり、これは特に敏感な、あるいはノイジーなケーブルにおいてはさらに重要と



なる。ここで用いているクラス 2 と 3 のあいだの 300mm の間隔に、BS IEC 61000-5-2 で用いられている「中立」ケーブル・クラスの幽霊じみた名残が存在している。中立クラスが用いられているならば、それはその両側のクラス 2 と 3 に 150mm の間隔を開けてこの領域の中央に置かれるであろう。

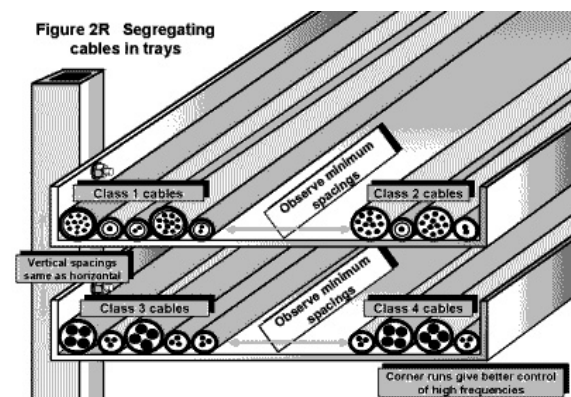
クラス 5 ケーブルはこの図には示されていないが、クラス 4 から少なくとも 150mm の間隔を確保し、またクラス 6 はさらに少なくとも 150mm 離すべきである。MV や HV のケーブルがクラス 1 ケーブルから 1m 以内にある場合には、そのクラス 1 ケーブルはカバー付きの金属ダクトの中を通すべきである。

ここで推奨されるケーブル間隔には非常に僅かな根拠しかないことを指摘しておくべきである。より大きな間隔は通常はケーブル間のより低い結合 (クロストーク) を与えることは確信を持って言えるものの、受け入れられる結合の量は、常にケーブルの種類、用いられる設置テクニック、ケーブルの両端に接続される電子機器、そしてその用途の機能的要求に依存するであろう。

PEC の内側の隅の布線は低いインダクタンスを持ち、高周波 EMC の制御のためにも良いので、特に敏感な、あるいはノイジーなケーブルのために確保しておくべきである。もしクラス間の金属の仕切りを用いる、あるいはその全長で追加のケーブル遮蔽を用いる (そして両端で局所 RF 基準に接続する) のであれば、ケーブル間隔は削減できるかも知れない。

個々のケーブル・クラスをそれぞれの専用の閉鎖型金属ダクトや円筒コンジット PEC の中通すことはクラス間の間隔の低減 (ゼロにさえ) を可能とするが、依然としてクラス 1 と 4 とを近付けて引くのは避けることが最良である。

Figure 2R は 2 つ (あるいはそれ以上) の垂直に重ねられたトレーにケーブル・クラスがどのように振り分けられるかを示す。このような開放型のトレーにおけるケーブル・クラス間の垂直の間隔は上で示した水平の間隔と同じとすべきである。



### 2.8.3 ケーブルの引き回し

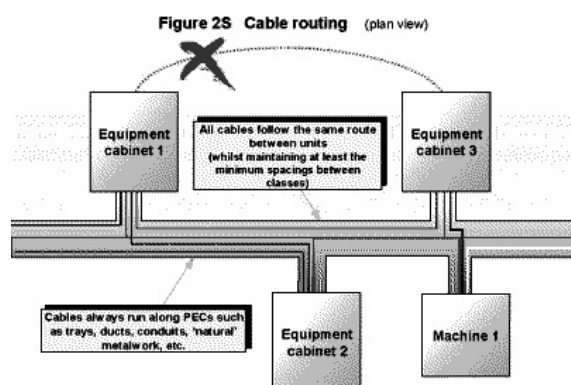
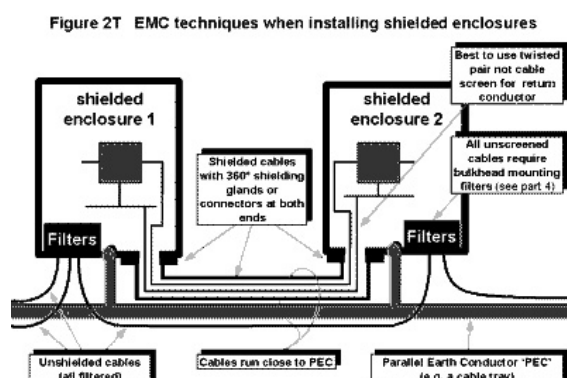


Figure 2S に示すように、電源磁界によって引き起こされる循環電流を最小とするために、全てのクラスのケーブルは機器の要素間の同一の経路を辿るべきである。

このスケッチで示した機器のいくつかの要素間の経路は、(例えば) 上でスケッチした重ねられたケーブル・トレイとして視覚化することができる。それらのケーブルは共通の、あるいは個別の PEC に沿って同一の経路を辿るものの、それらはクラスによる隔離を維持すべきである。

この要求は、それぞれのキャビネットが単一の接続パネル(クラスによるケーブル隔離を可能とするように離されたコネクタやグラウンドを持つ)を持つことを暗示する。異なった面、あるいは上と下からキャビネットに出入りするケーブルは推奨しない。

循環電流の影響は、使用する PEC の断面積を大きくする(そして高周波のためには先に述べたように PEC の RF インピーダンスを低減する)ことによって低減できる。しかし、ループを作らない賢いケーブルの引き回しはそのような力任せのテクニックを使用する必要を減らす。



### 2.9 シールド・キャビネットの相互接続

Figure 2T は 2 つのシールド・キャビネットの接続の概要を示す。しかし、特別に設計されたシールド特性を持たない普通の金属キャビネットでさえも、ここで示すように設置されれば通常はより良い EMC 性能を達成できるであろう。

遮蔽ケーブルは、キャビネットの壁面に取り付けられた、遮蔽を接続するコネクタやグラウンド(両端での遮蔽接続が必要)を通してのみシールド・キャビネットに入るべきであり、また全ての遮蔽なしケーブルは隔壁実装型フィルタ(あるいは相当するもの)を通してのみ入るべきである。2 つのキャビネットのあいだの全てのケーブルはクラスに従って隔離し、双方のキャビネットに接続された PEC に非常に近く引く。これには、上で述べたような金属のケーブル・ダクトやトレイを使用できる。

遮蔽ケーブルによって相互接続された電子ユニットは、遮蔽ケーブルのシールドを電流還流のために用いず、その代わりに専用の導体を用いるように注意すること。同一の導体(その遮蔽)にシールド電流と信号還流電流の双方を運ぶ同軸ケーブルは、それら 2 つのあいだの不十分な分離による困難をもたらし得る。機器の製造業者がその詳細な EMC 設置指示で規定している場合を除き、遮蔽ツイスト・ペア、二芯同軸、三重同軸、あるいはこれらに類した、信号電流と還流電流のための内部導体と干渉電流のみを運ぶ遮蔽とを持つケーブルは、通常は同軸ケーブルよりも望ましい。

### 2.10 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 "Installation cabling and earthing techniques for EMC", Keith Armstrong, IEE Colloquium Shielding and Grounding held at Savoy Place, London, Thursday 27th January 2000. The IEE Colloquium Digest is Ref. No. 00/016 として、IEE Publications Sales (phone: 01438 767 328, fax: 01438 742 792, Email: sales@iee.org.uk) から £20 (UK 内での郵送で) で入手可能。
- 4 IEC 364-4-444:1996 "Electrical Installations of Buildings – Part 4: Protection for safety – Chapter 44: Protection against over-voltages – Section 444: Protection against electromagnetic interference (EMI) in installations of buildings".
- 5 Draft prEN 50310 "Application of equipotential bonding and earthing at premises with information technology equipment" (BSI から 29/7/98 付けの 98/637068 DC として入手可能)
- 6 ETS 300 253:1995 "Earthing and bonding of telecommunication equipment in telecommunication centres".
- 7 ITU Recommendation K.27 (1996) "Bonding configurations and earthing within a telecommunications building".
- 8 ITU Recommendation K.35 (1996) "Bonding configurations and earthing at remote electronic sites".
- 9 prEN 50174-2:1998 "Information Technology – Cabling Installation – Part 2: Installation planning and practice inside buildings" (BSI の 98/637058)
- 10 IEC 61312-1:1995 "Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 1: General principles".
- 11 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.

---

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 VEF002000@nifty.ne.jp (T.Sato) 宛にお送り下さい。

Last update: 2000-07-31