

# —システムと施設の EMC—

## Part 1: 接地？ どの接地？

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最初のものである。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技術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。このシリーズは「クックブック」スタイルを用いており、説明したテクニックの背後にある理由を掘り下げはしない。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. 制御盤などの組み立てのための 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 テクニックは、以下のものを含む、大半の地上のシステムや施設に適用できる：

- 企業や政府のオフィス
- コールセンター
- 倉庫や商店街
- 電話交換局
- データ処理コンプレックス

- 録音 / 放送スタジオ、劇場、あるいは映画館などの、音声 / ビデオ / 映画施設
- 工業プロセス制御や計装
- 空港、港湾、鉄道の駅
- 製鉄所や造船所などの重工業

特別なシステムや施設 — 例えば：発電；病院；軍事施設；AM 放送局；全ての種類の乗物 (鉄道、地上、海上、航空宇宙など)；石炭、石油、ガス、及び鉱物の探査や抽出；危険な領域 (例えば石油化学プラント) など — は、いくつかの異なった EMC テクニックを必要とするかも知れない。これらの多くは、通常は従わなければならない、独自の EMC プラクティスの規定を持っている。しかし、いくつかの EMC プラクティスの規定はかなり古く、今それを適用しようとしている現代的な電子技術と用途のためには適切ではないかも知れない。既存の EMC 規定がこのシリーズで説明されているテクニックと矛盾することがわかったならば、その既存の規定がまだ正しいかどうかを判断するための、資格のある EMC 専門家によるアセスメントが推奨される。Defence Standard 59-41 Part 7<sup>[2]</sup> は軍用のシステムや施設のための EMC プラクティスに関する比較的最近の規定であり、このシリーズで説明されているものとほぼ同じテクニックを採用している。

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

\* Cherry Clough Consultants, Associate of EMC-UK

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

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な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 と機能的な安全性に関する 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。

## 0 システムや施設の EMC に対する商業的な必要性

このシリーズで解説する EMC テクニックの使用は:

- 時間と費用を節約する
- 稼働の開始や使用に供する時期の遅延のリスクを低減する
- 罰金を課される (供給者にとっての) リスクを低減する
- 信頼性を向上する
- 動作の精度や品質を向上する
- 地絡、電源サージ、あるいは落雷による電気装置の損傷のリスクを低減する
- 安全性を向上する (安全性が電気装置の正しい動作に依存している場合)
- 所有の総費用を低減する

これらのテクニックの使用は施設が最小のコストで EMC 指令 (89/336/EEC 追補) に適合することも助け、また施設が作られた後の干渉の苦情に対する「十分な注意 (due diligence)」防衛を行なうことを助けるであろう。過去にいくつかの工場が EMC 執行機関によって閉鎖させられているので、干渉事故の防止を助けるために良い EMC プラクティスを用いることを商業的リスク防止戦略として見ることも最良である。

この技術的な論文のシリーズは、新しいシステムや施設のプロジェクトにおける工学的、及び商業的なリスクを低減すること、そして新しいシステムや施設が高い信頼性と良好な動作品質を持つことを助けることを意図している。問題がそう認知されることは多くないものの、多くのシステムや施設のプロジェクトは EMC への配慮の欠如に伴う遅延や追加費用を被っている。例えば、ある化学処理プラントの製造業者は、インバーター・モータ・ドライブか

らのノイズがある状態で流量計が正しい読みを示すようにするためだけに、新しいプラント (それぞれ £10,000,000 程度) のそれぞれに 3 ~ 5 日を費している計算になると語ったことがある。

3 日間の工学的活動と必要となる追加の材料 (遮蔽ケーブル、フィルタなど) を除いても、そのプラントが金を稼ぎ始める時期を高々 1 週間遅れさせることは、おそらく失われた生産のために £300,000 程度を、そして £10,000,000 の借金の利息のためにさらに £20,000 程度 (非常に控え目な 10% / 年の利率を仮定) を費すことになる。良く知られた、容易に学べる、そして材料費に高々数百ポンドを加えるであろう EMC テクニックを無視するための支払いとしては £320,000 は高すぎる。

一部の技術者は、彼らのプロジェクトの費用 (彼らの給料を含む) が、利息を支払わなければならない銀行への借金と実質的に等しいことを理解しないかも知れない。その金は彼らの会社の銀行口座の預金から来ているように見えるかも知れないものの、財務担当重役はそれを工事に費していなかったならば利息を稼ぐことができた金として勘定し、従って彼が (そして株主が) 関心を持つ効果はそれを銀行から借り入れたものとほとんど同一である。もし株主が彼らの現金を建築業界に投資することでより多くの金を稼ぐことができ、かつ / もしくはリスクを下げられると感じたならば彼らはそうするであろうし、この態度は部分的には今日のイギリスにおける工業分野への投資の欠落を引き起こしている。

劣悪な EMC が遅延、費用、そして罰則条項の発効を引き起こす可能性がある、より多くの例については、このジャーナルの別の箇所にある「*Banana Skins*」の項目を読みたい。この項目は 1998 年 2 月から続いているシリーズの一部であり、実際にいくつかの非常に恐ろしい話を含んでいる。

## 1 接地? どの接地?

この章は最初は 2000 年 1 月に IEE Colloquium 論文 [3] として発表された。

この章で議論する内容は、以降のパートで説明する EMC プラクティスに強く関係する。

- 1.1 概要
- 1.2 アース、グラウンド、保護導体、共通接続ネットワーク、及び大地
- 1.3 電流還流経路
- 1.4 導体、接続、そして接地電極は複素インピーダンスを持つ
- 1.5 差動モード (DM) とコモン・モード (CM)

- 1.5.1 非可逆な CM について
- 1.6 機器からのエミッション
  - 1.6.1 1MHz 以下のエミッション
  - 1.6.2 1MHz から 200MHz のあいだのエミッション
  - 1.6.3 200MHz 以上のエミッション
- 1.7 連続無線周波数 (RF) に対するイミュニティ
- 1.8 電磁的トランジェントに対するイミュニティ
- 1.9 ケーブルや機器が建物の外にある場合
- 1.10 要約
- 参考文献

## 1.1 概要

「アース」、及び「グランド」という単語は多くの電気技術者にとって異なったものを意味する。電気施設において、これらの単語は次のいずれかの意味で用いられ得る：主電源の保護導体；建物の共通接続ネットワーク；雷防護システムの大地接地電極；あるいは配電変圧器で大地接地電極に接続された主電源導体。この論文は、様々な電磁的事象に対する、電子機器から保護導体、共通接続ネットワーク、あるいは大地接地への接続の関係を示す。

(電磁的) 事象の制御のための適切な接続と接地設計のためには、その電磁的事象に関連する電流が実際にどこを流れるかについての知識が必要である。そのような分析の結果は、ある種の電磁的事象はそのような接続に強く影響されるが、ある種のものはそうでないことを示す。決して EMC のために安全性を損なうべきではないと言うことを除き、安全性はここではカバーされない。保護導体を取り除くことによって EMC が改善される (例えば、計装やオーディオのシステムにおけるハム雑音を低減するために、これは依然として一般的なプラクティスである) としても、安全性要求に違反する可能性があるのであれば決してそうしてはならない。

## 1.2 アース、グランド、保護導体、共通接続ネットワーク、及び大地

アースとグランドは同義語であり、前者は主にイギリスやヨーロッパで、後者はアメリカやカナダで用いられている。この論文で「接地 (アース)」という単語が現れた場合、アメリカの用語を好む人はそれを「グランド」に置き換えても良い。

「接地」や「接地する」は、設計者や設置業者によってやりとりされる、かなり誤用され、濫用されてい

る用語であり、その結果として様々な EMC 問題の原因となっている。例えば、設置手順書がケーブル遮蔽を接地するように言っているとすると、これは実際には何を意味しているのだろうか？その遮蔽からキャビネットの壁面のシャーシ・スタッドへの 2m の緑 / 黄の導線はおそらくその遮蔽が数百 Hz よりも上で正しく機能することを妨げるであろうから、それは要求されたものではないだろう。従って、我々は使用している単語を理解していることを確認し、また他の人とやりとりする際に正しい用語を用いる必要がある。残念ながら多くの規格は「接地」という単語を用いるべきでない箇所で用いており、悲しいことに著者自身もしばしばこの同じ誤りについて有罪である。

厳密に言うと、接地とは地球の大地への接続のみを、特に雷防護システム (lightning protection system; LPS) の接地電極や AC 主電源配電変圧器のいずれかの主電源端子 (通常は「中性線」) に接続される接地電極を意味するべきである。

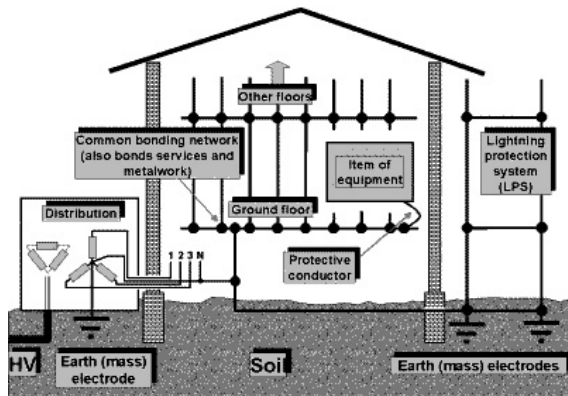
保護導体は、主電源から給電される二重絶縁テクニックを採用していない機器の露出した金属部への、安全上必須の接続である。この保護導体は典型的には主電源コードに含まれる緑や緑 / 黄の導線であり、これは建物の共通接続ネットワーク (common bonding network; CBN) に接続しなければならない。これらの導体は「保護接地」、「保護接地導体」、「安全接地」、あるいは単に「接地」と呼ばれることがあるが、それらは CBN に接続されるので「接地」という単語は不適切である。

CBN は、施設の中の、相互に接続された保護導体や金属構造、水道やガスの配管などの集合である。現代的な配線規則は、建物の CBN を構成するために、ほとんど全ての導電性のものを保護導体のネットワークに接続することを要求している。それらは、安全上の理由から、導入される主電源の接地された中性線と雷防護システム (それが設置されている場合) の接地電極によってその CBN を大地に接続することも要求している。CBN は大地に接続されるので、それはしばしば「接地ネットワーク」、「接地接続ネットワーク」、あるいは単に「接地」と呼ばれるが、これは正しくない。この点は学術的なものに見えるかも知れないが、CBN や大地接地と様々な電磁的現象との相互作用に影響することがわかるであろう。

Figure 1 はこれらの異なった「接地」の関係を示す。

建物の外の配電システムは、通常は主電源中性線と接地電極への接続の双方に、しばしば PEN 導体と呼ばれる 1 つの導体を用いている。建物によっては PEN 導体を内部で用いており、従ってその主電源中性線は CBN でもある。そのような建物は EMC

Figure 1 Common Bonding Networks, earth electrodes, etc.



問題の影響を強く受けることがあり、従って最近の多数の規格においては、電子機器が設置される場合には建物内での PEN 導体は推奨されていない (すなわち、IEC 364 section 546.2.1、HD 384.5.54 S1:1980、あるいは BS7671:1992 546-02 のオプションは使用すべきではない)。

### 1.3 電流還流経路

キルヒホッフの法則はいかなる電気的な節点においても電流の総和がゼロであると言っており、従って、たとえ多数の異なった経路を通して還流するとしても、全ての送出電流 (信号や電源) に対して正確に同じ反対向きの還流電流が常にある。電流の全経路は、しばしば電流ループと呼ばれる。還流電流がどこを流れるかを知るとは、電磁的現象を分析し、EMC を達成するための強力なツールである。信号インテグリティは EMC の一部として見ることもでき、例えば機器内部での信号インテグリティ問題は「内部 EMC」(互いに干渉を与える、機器内部の電子回路の性質) の一部として説明できる。従って、還流電流が実際にどこを流れるかを知るとは信号インテグリティを達成するためにも非常に重要である。

残念ながら、大半の電子設計者はこの点では非常に不利な位置からスタートする— 電子工学の伝統的な教科書や教材 (そして大半の回路シミュレータ) は還流電流を完全に無視し、さもなくば還流経路の長さやインピーダンスはゼロであると仮定している。

### 1.4 導体、接続、そして接地電極は複素インピーダンスを持つ

物理的なものは全て複素数の電気的インピーダンス—すなわち周波数によって変化するもの—を持つ。まっすぐな導線の誘導性インピーダンスは数

kHz 以上ではその抵抗性インピーダンスよりも大きくなる。周波数が上昇すると、通常は増加するインピーダンスが浮遊容量による低下を示すかも知れない。さらに高い周波数で、波長が導線の長さと同等となった場合には、それは共振アンテナとして振舞い、そのインピーダンスは周波数に依存して誘導性、もしくは容量性のいずれかとなる。例えば、1m の長さのまっすぐな導線は 70MHz 以上の周波数で共振するであろうし、10m の長さのまっすぐな導線は 7.5MHz 以上の周波数で共振アンテナ効果の影響を強く受けるであろう。

全ての導線、ケーブル、そしてその他の金属構造などの導体は、おおまかには同様の影響を受ける。高周波における実際のインピーダンスは、その材質、形状 (特に断面積)、長さ、そして他の導体や絶縁体との近さに依存する。一般的には、導体の幅広の面 (第2部の Figure 2F を参照) は導線よりも高い周波数まで低いインピーダンスを保ち、その幅が広がるとそのインピーダンスは低下する。

典型的な保護導体は普通は単なる細い導線であり、しばしば CBN に接続されるまでに数メートル引かれる。この種の保護導体は高周波では高い、あるいは不定のインピーダンスを持ち、従って高周波の電磁的事象の制御のためにはあまり有効ではない。

CBN は、導線と、鉄筋、梁、鉄骨、配管、ダクト、ケーブル・トレイ、コンジット、ケーブルの保護外装や遮蔽などの「自然」金属構造とから構成される。これら全てを相互にメッシュ状に接続することにより、CBN のインダクタンスを低減する (そして高周波でのその有用性を高める) ことができる。メッシュ状の導体は、メッシュの寸法が小さくなるほど導体の連続な面に近付き、従ってメッシュの寸法を小さくするとそのインダクタンスは低下してより高い周波数の電磁的事象をより良く制御できるようになる。

高導電率の土の中の良く設計された電極は (電極自身の位置で測定したならば) 数 MHz まで主として抵抗性を示すかも知れないものの、接地電極もインダクタンスを持つ。勿論、接地電極への接続はインダクタンスを持ち、これは実際の大地への接続の周波数応答の重要な要素となるかも知れない。現代的な接地電極システムは、高周波電磁的事象のより良い制御を助けるため、サイト全体での低インダクタンスを達成するために、環状電極群とコンクリート基礎中の鉄筋や、それに類似したものをを用いている。

### 1.5 差動モード (DM) とコモン・モード (CM)

送出電流経路と還流電流経路として意図された 2 つ (あるいはそれ以上) の導体のあいだに電圧や電流

が存在する場合、それは差動モード (DM) と呼ばれる。差動の信号や電源を示すために用いられることのあるもう1つの表現は「対称」である。必要な信号や電源はほとんど常に DM である。

いかなる導体も他の全ての導体や導電性のものに対する浮遊 (寄生) 容量やインダクタンスを持つ。DM 電圧や電流は、これらの浮遊成分を介して、意図した導体から他の導体や導電性のものに漏洩する。個々の信号や電源導体に対して多数の異なる浮遊容量や浮遊インダクタンスがあり、従って個々の導体は様々な程度の漏洩を生じる。もしそれぞれの DM 導体からの漏洩を同一とできるのであれば、それらは打ち消し合って、その全体としての影響はゼロとなる。しかし、実際にはこの理想には近付けられるだけであり、達成はされない。結果としての全体の漏洩はコモン・モード (CM) と呼ばれる。CM の代わりに用いられることのある表現は「非対称」である。

DM の信号や電力の導体からの浮遊漏洩と同様、個々の導体のインピーダンスや、信号源と負荷の双方の機器の内部での基準電位 (例えばシャーシ) にも相違があるであろう。これらの不平衡も DM から CM への変換に影響する。

Figure 2 The unbalanced stray impedances that convert differential mode (signals) to common mode (leakage)

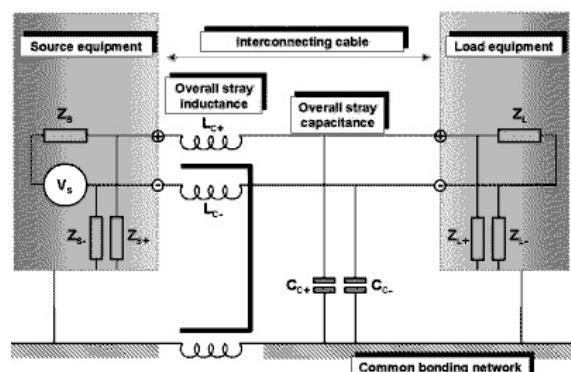


Figure 2 は CM の発生に寄与する別々のインピーダンス全ての総体的な効果を表現する少数のインピーダンスを示している。

CM 漏洩が他の信号や電源の導体に影響する場合、これは通常はクロストークと呼ばれる。重要な EMC 事象の1つではあるものの、これはこの論文の対象ではない。我々は、保護導体、CBN、そして大地に関係する CM の電流や電圧に関心がある。

信号ケーブルが DM を CM に変換する、長さ 1m あたりの程度は、縦横変換損失 (longitudinal conversion loss; LCL) として知られている。カテゴリ 3 データ通信ケーブルは、典型的には 1.5 ~ 30MHz の周波数範囲にわたって 50 ~ 25dB の LCL を持ち、この LCL は周波数の上昇に伴って低下する。カテ

ゴリー 5 ケーブルは、同じ周波数範囲で 60 ~ 35dB の LCL を与えるために、その撚り込み率に対するより厳しい管理のもとに作られている。60dB という値は、ケーブル 1m ごとに DM 信号の 0.1% が CM に変換されることを意味する。

Figure 2 は撚り合わされていないシールドなしの信号ケーブルを示しているが、ケーブル外部との誘導性や容量性の結合を低減するために信号導体が撚り合わされたりシールドされたりしている場合でも、これと同じコモン・モード漏洩メカニズムが発生する。撚り合わせやシールドは 100% の効果を持つことはなく、組み立てや設置に際しての劣悪な終端テクニックによってさらに効果が低くなることもある。

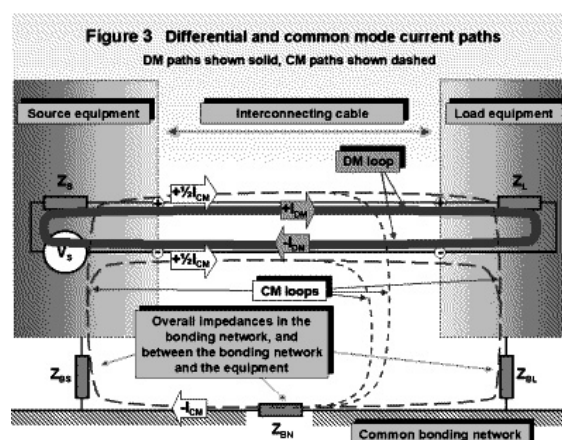
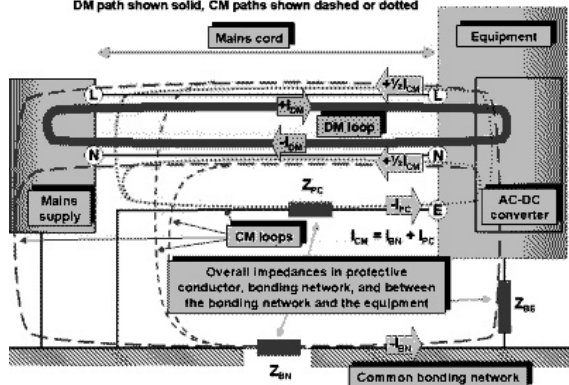


Figure 3 は、信号導体に対する DM 電流は大きさは等しいが極性が反対 ( $+I_{DM}$  と  $-I_{DM}$ ) であり、それぞれの出力端子で観察される CM 電流の極性は同一でそれぞれがその合計の半分 (双方が  $+I_{CM}/2$ ) であることを示している。3本の導体上の DM 信号や電力ケーブルにおいては出力される CM 信号はそれぞれ合計の 1/3、4本の導体上の DM 信号や電力ケーブルにおいては 1/4 といった具合になる。

Figure 3 の CM 還流電流 ( $-I_{CM}$ ) は、信号源自身と CBN のあいだの、インピーダンス  $Z_{BS}$  で表現されている何らかの接続や浮遊インピーダンスを介して (キルヒホッフ氏を満足させるために) 信号源に還流する。たとえ CBN への意図的な接続 (保護導体のような) がないとしても、依然として CBN と機器のあいだに浮遊容量や浮遊インダクタンスが存在するので、 $Z_{BS}$  は依然として存在する。

主電源から機器への CM 電流が Figure 4 の主題である。AC/DC コンバータは、整流器とスイッチング・トランジスタを主な源とする、不連続な、かつ/もしくは非線形な負荷インピーダンスによって DM ノイズ電流を発生する。その機器が保護導体

Figure 4 Differential and common mode current paths for the mains cord  
DM path shown solid, CM paths shown dashed or dotted



によって CBN に接続されているならば 2 組の漏洩インピーダンスがあり、従って CM 還流電流の 2 組の可能な経路がある：1 つはその保護接地導体 ( $Z_{PC}$  として表現されている) を介したもので、もう 1 つ (実際にはいくつもの経路) は CBN ( $Z_{BN}$  として表現されている) を介したものである。機器が二重絶縁されている場合には  $Z_{PC}$  はない。

上の図は CM 電流とインピーダンスのみを示しているが、CM 電流がその電流経路にある様々なインピーダンスを通して流れる以上、CM 電圧が存在する。

#### DM から CM への変換の可逆性

DM から CM への変換は、上で浮遊、あるいは寄生インピーダンスの用語によって説明したが、以下で示すようにこのプロセスは電磁的エミッションの発生において非常に重要である。しかし、この変換のプロセスは逆方向にも働く——外部からの CM の電流や電圧は信号や電力の導体上の DM 「ノイズ」に変換される。これも以下で示すように、この可逆性は電磁的事象に対するイミュニティのために非常に重要である。

CM を低減する 2 つの方法 (その機器の回路設計を変更することを含めず) がある：

- CM 電流を低減するために CM インピーダンスを増加させる
- CM 電圧が印加され、また CM 電流が流れる面積を低減する

可逆性により、これらはエミッションとイミュニティの双方の改善のために同様に働く。

#### 1.5.1 非可逆な CM について

ここでは、可逆ではなく、従ってエミッションとイミュニティのいずれかに影響するいくつかの CM 問題を示す。

- DM 信号源が全ての個体のそれぞれの導体に対して完全に相関のある電流、電流、あるいは信号源インピーダンスを持つことはなく、これらの不平衡は CM 成分を直接発生し、従って CM 漏洩を促進する。これは電磁的エミッションに関する問題であるが、イミュニティへの可逆な影響は持たない。
- アナログ (連続) 回路テクニックのデジタルやスイッチ・モード (不連続) の回路テクニックへの置き換えが進むにつれて、機器内部の自己発生ノイズの問題が増加している。回路の内部動作によって発生したノイズ電流は内部インピーダンスを通して流れ、内部 CM ノイズ電圧を発生する。このノイズ電圧は意図された電圧とは無関係に主電源や信号の全ての導体に現れ、機器の外部世界での CM 電流の発生を助ける。これは電磁的エミッションに関する問題であるが、イミュニティへの可逆な影響は持たない。
- 電子回路の CM 抑圧の不完全性による、外部 CM ノイズの DM ノイズへの変換。たとえ信号ケーブルが無限の LCL を持っていたとしても、電子回路に与えられた CM 電圧は依然として EMC 問題を引き起こす。この電磁的イミュニティ問題は、エミッションへの可逆な影響は持たない。
- 半導体固有の非線形性によって RF 復調が引き起こされる。これが意図した信号を遥かに超えた周波数で発生することが、電子設計者によってしばしば観察されている。1 秒の応答時間を持つ熱電対増幅器がその信号ケーブルに 100MHz 以上の CM 電圧が印加された際に大きな測定誤差を生じることは珍しいことではない。この電磁的イミュニティ問題は、エミッションへの可逆な影響は持たない。

#### 1.6 機器からのエミッション

電圧があるならば常に電界があり、浮遊容量は漏洩電界を示す別の方法そのものである。電流があるならば常に磁界があり、浮遊インダクタンスは漏洩磁界を示す別の方法そのものである。従って、我々が「インピーダンス」という単語を使う場合、それは常に電界と磁界が存在することを意味していることに気付くことが重要である。EMC は電界と磁界の

制御に関する全てであり、従ってインピーダンスの制御に関する全てとして見ることもできる。

CM の電圧や電流は DM よりも遥かに長い距離と大きなループ面積で働くため、ある大きさの CM の電圧や電流は同じ大きさの DM のものよりも遥かに大きな電界と磁界のエミッションを生じる。従って、非常に小さい CM でさえもエミッションに関する大きな問題を生じることがある。

以降の簡単な分析は、基本的に、その機器が典型的な床置き工業用キャビネットよりも小さくなく、その信号ケーブルが高インピーダンス負荷を駆動する 30m よりも長くないものであり、その機器とケーブルの双方の全体が 1 つの建物の中にあるものと仮定している。

### 1.6.1 1MHz 以下のエミッション

例えば 1MHz よりも下の周波数では、大半のエミッションは DM の電流や電圧によって引き起こされる。これは、大抵は CM 問題を生じるためには機器の大きさやケーブルの長さが小さ過ぎ、また関係する浮遊インピーダンスが高過ぎるためである。1MHz 以下での DM での電氣的ノイズの大半を AC/DC 電源コンバータが発生する傾向があるので、1MHz 以下でのエミッションで最大の問題を生じるのは大抵は主電源ケーブルである。主電源ケーブルは非常に長くなることがあるが、その送出導体と還流導体の近さと緩い撚り合わせは放射エミッションを低く保つことを助けるので、問題は通常は伝導性エミッションによるものである。

DM の電流や電圧は意図された導体に閉じ込められるので、保護導体、CBN、そして大地のいずれも顕著な影響を持たない (対象となる電流はそれらを含む経路を持たない)。

1MHz という周波数は、機器の大きさ、ケーブルの長さ、そして負荷インピーダンスに強く依存する。例えば、誘導モーターを駆動する周波数変換器において、モーターの巻線とその金属構造とのあいだの大きな静電容量が 1MHz よりも遥かに低い周波数で高レベルの CM 電流を引き起こすことがある。

### 1.6.2 1MHz から 200MHz のあいだのエミッション

1MHz 以上においては浮遊インピーダンスがより顕著になり、通常は CM エミッションが DM エミッションよりも優勢となる。CM インピーダンスは、機器を二重絶縁とし (その保護接地を取り除き)、その他の全ての CBN への接続を取り除き、機器の CBN からの距離を増やし、ケーブルに CM チョークを取り付け、より良い LCL のケーブル (撚り合

わせ、及び/もしくはシールドされたもの) を用い、そして電氣的絶縁テクニック (特に光ファイバー、赤外線、あるいは無線通信) を用いることによって増加させられるかも知れない。

CM 面積は、CBN への接続のインピーダンスを低減し (より短い、より大きな断面積のもの)、ケーブルを CBN の近くに敷設し (さらにはケーブルの遮蔽を所々露出させて CBN に接続し)、メッシュの大きさを小さくすることによって CBN のインピーダンスを低減し、CBN 導体の断面積を大きくし、そして電源や信号導体と CBN のあいだにコンデンサを取り付けることによって減少させられるかも知れない。

通常、上記のテクニックは同時に適用される: 例えば、銅のケーブルの代わりに光ファイバーを用い、また残りの銅のケーブルに CM チョークを追加することによって CM インピーダンスを増加させ、それと同時に主電源端子と CBN のあいだに“ Y ”コンデンサを取り付け、機器と CBN のあいだの接続のインピーダンスを低減し、そしてケーブルを CBN の近くに敷設することによって残りの CM が作用する面積を低減する。

この例から、エミッションの制御のためには機器と CBN のあいだの接続 (保護導体を含む) が重要であるが、時にはその接続を除去するかインピーダンスを増加させた方が良く、時には接続を追加するかその CBN へのインピーダンスを低減させた方が良いということがわかる。対象となる電流の経路はそれを通らないことから、大地への接続は顕著な効果を持たない。

### 1.6.3 200MHz 以上のエミッション

DM 放射エミッションはその周波数の自乗に比例するが、CM 放射は周波数に比例する。従って、例えば (非常におおまかには) 200MHz 以上まで周波数が上昇すると、DM 放射エミッションが CM エミッションを超えるかも知れない。この周波数での DM 放射の低減は、送出導体と還流導体によって形成されるループの大きさの低減、及び/もしくは遮蔽を必要とする。保護導体や CBN に関しては何をする必要もない。この周波数での CM エミッションを低減することは、1MHz と 200MHz のあいだにおけるものと同じである — 保護導体やその他の CBN への接続を除去し、あるいはインピーダンスを増加させた方が良い場合もあり、CBN への接続のインピーダンスを低減させた方が良い場合もある。しかし、CM と DM の双方のエミッションに関して、大地への接続は顕著な効果を持たない (関係のある電流経路はそれを通らない)。



## 1.7 連続無線周波数 (RF) に対するイミュニティ

80MHz 以下においては、電磁的イミュニティ試験規格は機器の RF に対する暴露の大半はケーブルを介したものであると仮定しており、伝導手法が用いられる。規格は 80MHz 以上では放射フィールドの機器への直接の結合が顕著であるとも仮定しており、その代わりに放射手法が用いられる。いずれの試験手法もその試験外乱を CM として与え、従って問題となるのは外部 CM 外乱が DM ノイズに変換される程度である。上で述べたように、これが生じ得るいくつかの過程がある。DM から CM への変換 (そして CM エミッション) を引き起こすインピーダンスの不均衡は、その逆に外部 CM を DM に変換する (DM ノイズを生じる) ようにも働く。イミュニティを悪化させるもののエミッションに関しては対応する影響を持たない、非可逆の CM から DM へのメカニズムもある。

機器やそのケーブルに関連する CM と DM の電流全てが流れる経路は変わらず、従って連続 RF に対するイミュニティを改善するために用いられる「接地絡み」のテクニックはエミッションに対しても同様となる。所定の周波数における、イミュニティの改善のための保護導体、CBN、そして大地の関係に関する結論は、エミッションに関するもの (上を見よ) と同一である。

## 1.8 電磁的トランジェントに対するイミュニティ

EMC 試験規格はいくつもの異なった種類のトランジェント・イミュニティ試験を含んでいる: 例えば静電気放電、ファーストトランジェント・バースト、単方向サージ (組み合わせ波形)、変調波、そして減衰振動波形。これらの全ては伝導性の高電圧として印加され、そしてそれらは DM 外乱 (しばしば対称、相間、あるいは「対地」と呼ばれる) として印加されることも、CM 外乱 (しばしば非対称、あるいは「all-lines-to-ground」と呼ばれる) として印加されることもある。俗に「接地」と称されることのある様々な導体との接続の利点や欠点を分析するためには、これらの外乱に対する電流経路を考慮しなければならない。

「相間」外乱は信号や電源の導体のみに関係し、従って通常は「接地」は影響を持たないが、「対地」外乱はその電流経路に保護導体や CBN への全てのインピーダンスを含む。機器の「対地」トランジェントに対するイミュニティは、機器と CBN のあいだのインピーダンスを増加させ、あるいは減少させることによって改善されることがあり、CBN 自身

のインピーダンスの増加や減少も影響することがある。(上で示した 1MHz 以上のエミッションの改善と全く同様に。) しかし、使用する手法は安全性を損なってはならない。

サージ防護デバイス (SPD) は、理想的には通常の動作のあいだは回路に対する影響を持たないが、通常の範囲を超える電圧に曝された時にはそのトランジェントを転流して回路を損傷から保護するために抵抗値を急激に低下させる非線形抵抗である。回路を同一のモードのトランジェントから保護するために、SPD は相間、あるいは「相 グランド間」のいずれに取り付けることもできる。SPD に関連する大きすぎるインダクタンスは、トランジェント電圧をクランプする効果を弱める。「相 グランド間」に接続された SPD の効果的な使用のためには、保護導体や、その他の CBN への接続のインダクタンスの低減が必要かも知れない。

上の他の電磁的事象全てにおいて、トランジェントに対するイミュニティは保護導体やその他の CBN への接続にかかわるテクニックによって改善できるかも知れないが、時には CBN への接続を除去するかインピーダンスを増加させた方が良く、時にはそのインダクタンスを低減するために CBN への接続を改善した方が良い。関係のある電流経路はそれを通らないので、大地への接続は重要ではない。

## 1.9 ケーブルや機器が建物の外にある場合

上では機器とケーブルが建物に完全に含まれている場合のみを想定している。ケーブルが建物の外に出る、あるいは機器が建物の外に設置される場合、建物の中での CBN に対するものと同様、それらは浮遊容量や浮遊インダクタンスによって大地中に CM 電流を発生する。CM 電流還流経路の一部は大地を介したものとなるので、発生源の機器と大地のあいだのインピーダンスがエミッションを低減するために重要となるだろう。

上で議論したように、エミッション、及び / もしくはイミュニティは、CM 電流を低減するために大地へのインピーダンスを増加させる (CM チョーク、光ファイバー、より良い LCL のケーブルなど) ことによって改善できることも、CM の電圧や電流の影響する面積を低減するために大地へのインピーダンスを低減する (接地電極への低インピーダンス接続、低インダクタンスの電極、ケーブルの大地の近傍や地中への敷設など) ことによって改善できることもある。上と同様、現実的な解決策はしばしば双方の種類のテクニックの適用を伴う。しかし、雷防護が重要となることがあり、エミッションやイミュニティの改善のために用いられる手法の組み合わせは建物の中でのものとは異なったものとなるかも知れない。



## 1.10 要約

「接地」は混乱を避けるために正確に用いるべき単語であるが、通常はそうされていない。施設においては、「接地」という単語は保護導体、建物の共通接続ネットワーク、あるいは大地への接続を示すために頻繁に用いられている。通常の信号や電源は差動モードであるが、物理的な対称性の不可避な欠落は差動信号の一部のコモン・モードの「漏洩」への変換を生じ、その漏洩した電流や電圧は元の差動信号や電源よりも遥かに大きな面積をカバーし、従って多くの EMC 問題を引き起こす傾向がある。

「接地」への接続が EMC 問題を改善する方向となるかどうかを分析するためには、差動モードとコモン・モードの双方の電流に対する関係する電流経路の分析が必要となる。EMC と保護導体、共通接続ネットワーク、そして大地との関係は関係のある電磁的事象に依存するが、多くの電磁的事象は共通接続ネットワークへのインピーダンスの低減かその増加、もしくはその双方の組み合わせによって制御できる。大地への接続のインピーダンスはケーブルや機器が建物の外に設置される場合にのみ重要となる。

## 参考文献

- 1 "EMC for Systems and Installations", Tim Williams and Keith Armstrong, Newnes, 2000, ISBN 0 7506 4167 3.
- 2 Def Stan 59-41 Part 7, Nov 1995, "Electromagnetic Compatibility – Code of Practice for HM ships - Installation Guidelines"  
(全ての UK Defence Standard は <http://www.dstan.mod.uk> から無料でダウンロードできる)
- 3 IEE Colloquium Digest Ref. No. 00/016 "Shielding and Grounding" Savoy Place, Thursday 27th January 2000.  
IEE Publication Sales Department (phone: 01438 767 328, fax: 01438 742 792, Email: [sales@iee.org.uk](mailto:sales@iee.org.uk)) から £20.00 (UK 内での郵送で) で入手可能

---

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](mailto:VEF00200@nifty.ne.jp) (T.Sato) 宛にお送り下さい。

Last update: 2000-07-22