

実践

ICT時代のノイズ対策

— 施工の現場から見るノイズ低減用接地 —

藤田嘉美 著

オプトロニクス社

実践 ICT時代のノイズ対策

— 施工の現場から見るノイズ低減用接地 —

藤田嘉美 著

オプトロニクス社

まえがき

電子機器回路設計者やコンピュータシステム担当者が記述するノイズ対策や接地の本は数多くあるが、電気設備（電気工事）技術者や情報（通信）配線施工技術者の視点から見た疑問や解決方法について報告された書物はほとんど無いのが現状である。

筆者は、1970年代初頭にコンピュータセンタの設計施工を担当し、その後も工場のFA化に伴う数多くのトラブル事例の対応・指導を行った。1980年代に入ってから、当時脚光を浴びたインテリジェントビルの頭脳として肥大化したBAシステムで様々なトラブル現象として現れた機器の誤動作への対応と、同時に情報リスクとして顕在化した不正アクセスや漏洩電磁波の盗聴を含む情報漏洩対策といったセキュリティ（防犯・防災）の視点を含めた対策も求められるようになった。さらに1990年代に入ると、急速に普及した無線ネットワークとIDタグの普及による医療機器の誤動作の問題が指摘され、またICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）社会と言われる昨今では電磁波に過敏な人々の健康問題や安全安心面への配慮も求められるようになってきている。

電気設備（電気工事）技術者・情報（通信）配線施工技術者という視点から、筆者は、これらの問題や社会の要請にいかに関心して設計・施

工・運用すべきか、という点について常に頭を悩ませてきた。

本書は、これらの過去の悩みを解決するのに役立つ知識や経験をノウハウ書として整理したものである。単なる接地の解説書やノイズ低減策の事例書とならないように、現時点で最適と考えられる書籍、論文、報告書、ホームページ等からできる限り正確に抜粋引用し、知りたい事柄に簡単にたどり着ける構成としている。このため、参考・引用した文献は膨大となり、本書の発行を快諾していただいた(株)オプトロニクス社の上野直樹社長をはじめとする編集部の皆様、特に宮崎尚樹氏には大変お世話をかけることとなった。

また、EMCに関連する記述・図表では、著者のKeith Armstrong氏並びに翻訳者の佐藤智典氏から引用に際しての快諾と数多くの資料提供を頂いたことに本紙面をお借りして感謝申し上げたい。

ノイズによる誤動作が問題となる医療機器、漏洩電磁波が問題となる電子機器、雑音が問題となる音響機器、健康面での安全安心が懸念される電磁波曝露問題等について、接地線、信号線、電源線等の敷設や端末処理方法などがどのように関係しているのか、コンピュータシステムにおける信号や電源、接地の特異性を示しながら、電気設備技術者、情報配線施工技術者、IT関係技術者が留意すべき、ノイズを低減するための諸施策について、接地技術を主眼に置いて記述したので、ご一読頂きたい。

2007年10月

藤田 嘉美

Contents

まえがき i

第1章 信号とノイズ 1

- 1.1 ノイズの定義 1
- 1.2 ノイズの種類と伝搬経路 3
- 1.3 信号線とノイズ 6
- 1.4 電磁環境両立性（EMC：Electromagnetic Compatibility）
..... 7
- 1.5 EMCと医用電気機器 8
- 1.6 電気導体のアンテナ効果 10
- 1.7 送受信信号レベルの推移 12

第2章 接地するとは 15

- 2.1 接地の目的 15
- 2.2 さまざまな接地と接地極 16
- 2.3 接地と関係法規 17
- 2.4 各種リスクと法令（対策） 19

第3章	運用面からみた接地	22
3.1	運用と接地	22
3.2	電源システムと接地方式	24
3.3	TT式接地の性能向上施策	26
第4章	周波数と接地システム	28
4.1	低周波の直列・並列一点接地	28
4.2	高周波の多点接地	30
4.3	3つの個別接地 (SG, FG, NG)	31
4.4	ノイズフィルタ	33
4.5	ノイズ対策とトランス	34
4.6	ノイズ被害の低減・防止対策	36
4.7	電源ラインの雑音エネルギー	37
第5章	シールド (遮蔽) と撚り線	39
5.1	3種類のシールド	39
5.2	電磁シールドと磁気シールド	40
5.3	アクティブ磁気シールド	43
5.4	開口部対策	44
5.5	遮蔽ケーブルとコネクタ接続部	47
5.6	撚り線, 電線管の遮蔽効果	51
5.7	LANケーブルの撚り戻し長	52
5.8	コンピュータ用ケーブル	54
5.9	LAN用ケーブルの工夫	55

5.10 特殊な構造を持つケーブル	58
-------------------	----

第6章 接地と離隔距離

6.1 並行接地導体（PEC：Parallel Earth Conductor）	60
6.2 ケーブル間の離隔距離	63
6.3 マイクケーブルと電源ケーブルとの離隔距離	64
6.4 金属可とう電線管の遮蔽効果	65

第7章 接地構造体（CBN）

7.1 ボンディング・マット	68
7.2 コンピュータ用分電盤廻りの施工事例	69
7.3 複数のコンピュータシステムでの接地工事	71
7.4 ビル全体の等電位接地	72
7.5 等電位ボンディング	73
7.6 環状接続導体（BRC：Bonding Ring Conductors）	76
7.7 雷防護システム（LPS：Lightning Protection System）	80
7.8 接地母線としての金属構造体	82

第8章 静電気の接地

8.1 人体の静電容量	85
8.2 静電気帯電防止対策	85
8.3 導電性塗料	87

8.4	湿度と静電気発生	87
8.5	帯電防止床材	88

第9章 電磁波と安全安心

9.1	安全リスクと法令	91
9.2	環境差と個人差	94
9.3	健康被害を受けやすい人々	95
9.4	センシティブ・エリア	96
9.5	家庭電化製品と電磁波曝露	99
9.6	携帯電話端末等の使用制限	102
9.7	盗難防止装置	107
9.8	電波が人体にあたる影響評価用人体モデル	108
9.9	光無線システム	111

あとがき	113
参考・引用文献	115
索引	119

信号とノイズ

コンピュータに代表される電子機器の誤作動を引き起こすノイズ対策としては、良いグラウンド、良いシールド、適切なレイアウト、適切なフィルタリングが重要であり、適切なサージ防護部品の使用やノイズシュミレータといったソフトの利用も活発化している。

ノイズ問題の大部分は遮蔽（シールドイング）と接地を組み合わせることで解決できる。しかしながら、人が触れる恐れがある金属構造物は安全上の理由から大地に接続することが要求されており、信号配線での接地に要求されている信号の安定とノイズの抑制とは必ずしも合致していない。多くの場合、安全接地（PE：Protective Earth）は信号接地（SE：Signal Ground）としては不適當な場所で要求されており、このことが雑音問題を扱う上で問題を複雑にしている。

1.1 ノイズの定義

図 1.1 下段に示すごとく、「ノイズとは妨害回路内に現れる必要な信号以外のあらゆる電氣的信号」という定義¹⁾から判るように目的信号以外を全てノイズと言うことができる。現実的なノイズの低減対策とは、

定義

「雑音とは目的成分(信号)に対して、妨害または悪影響を与える変化成分の総称」

(北大路 剛著「電子回路のための雑音対策百科」オーム社)

「雑音とは妨害回路内に現れる必要な信号以外のあらゆる電気的信号」

但し、非直線性により回路内で発生する歪については、回路の他の部分に結合しない限り雑音とは考えない。

また、回路のある部分で必要な信号でも、もし偶然他のある部分に結合していたら、これは雑音である。

(Henry. W. Ott(米国ベル研究所)著, 松井訳「実践ノイズ遮断技法」ジャテック出版)

図 1.1 ノイズ(雑音)の定義

図 1.1 上段のノイズ定義に示されているごとく、ノイズ信号の中から目的成分である欲しい信号を選択・分離して読み取る復号化技術(メーカー主体)の努力結果と適正な妨害信号抑制処置(施工者主体)結果の相乗効果のためのものであり、従来のようにノイズ対策を機器メーカーだけに任せているだけでは必要な信号を得ることができなくなっていることを理解して、電気設備技術者、情報配線施工技術者、IT 関係技術者の取るべき責務についても真摯に対処して欲しい。

1.2 ノイズの種類と伝搬経路

ノイズの種類としては、図1.2に示すごとく、自然ノイズ、人工ノイズ、内部発生ノイズがあり、電子機器の回路内部で発生するの人工ノイズについては、機器製作メーカー側での対応となるため、本書では原則として除くこととする。

伝搬・侵入経路からノイズを区分すると、電子機器の電源ケーブル、信号配線、アース線といった導体を伝搬してくる「伝導性ノイズ」と、無線機やテレビの電波、接点開閉時の火花による高周波などが空中を伝搬して直接侵入してくる「放射性ノイズ」とに分けられる。

伝導性ノイズには、「電位ノイズ」と「流入ノイズ」があり、放射性ノイズには、「外来ノイズ」と「誘導ノイズ」がある²⁾。

(1) 電位ノイズ 対策：良いグラウンド

離れた機器間の配線上に発生する信号の電位差により生ずるもので、対策としては、双方の機器を接地線で相互接続して同電位にすることで解決できる。

(2) 流入ノイズ 対策：良いフィルタリング

機器の電源部から入ってくるノイズで、対策としては、接点開閉時の火花による高周波ノイズは電線にパルスの形で乗ってくるので、フィルタで除去して、大地に排出すれば解決できる。が、問題なのは低周波ノイズである。特にエレベータの制御ノイズ（インバータノイズ）は難物で、電源部に高性能フィルタやノイズカットトランスを採用する必要がある。ノイズを嫌う音響設備などでは、専用電源を採用し、一般の電

ノイズの種類と伝搬経路

[防止・低減対策]

- 外来ノイズ
 - 自然ノイズ 例：電雷，太陽黒点
 - 人工ノイズ 例：モーター，スイッチ，送信機
- 内部(発生)ノイズ 例：熱ノイズ，ショットノイズ

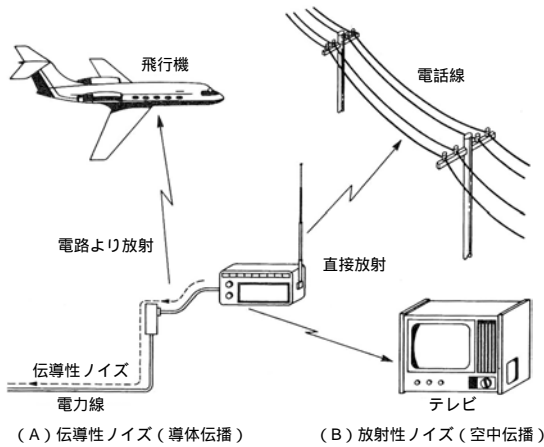
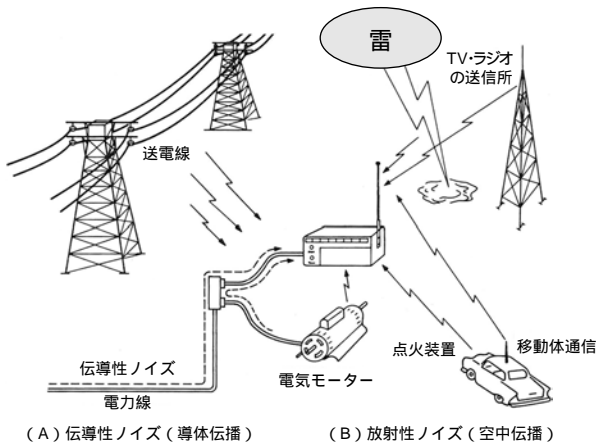


図1.2 ノイズの種類と伝搬経路¹⁾

源回路と分離してしまうことが安価なノイズ解決策となることが多い。

(3) 外来ノイズ 対策：良いシールド

機器本体や信号線から離れたところから空中を伝わって飛び込んでくる。大半が高周波の電磁波で、金属部分に高周波電圧（電流）を誘起し、これが信号に悪影響をおよぼすものである。このノイズは、遮蔽（シールド）を完全に行えば防御できる。信号線に飛び込む電磁波は、遮蔽性能の良いシールド線を用いれば、シールド線外被で誘起高周波電圧のすべてを引き受けてくれるので、接地すれば排出できる。また、機器本体も金属ケースで遮蔽されているので、金属筐体を接地すれば、金属ケースに誘起した電圧は接地極に排出できる。

(4) 誘導ノイズ 対策：良いレイアウト

誘導ノイズは、音響機器本体や信号線に接近した場所から輻射されており、商用電源の 50 Hz または 60 Hz の電磁波、インバータ機器の電磁波、調光器の高調波などによるもので、一般に音響機器ではノイズが外部に漏れないようにしているので、機器に繋がっている電線等から輻射されていることが多い。

したがって、誘導ノイズの対策は、音響機器の信号線（マイクロホンコードや機器間を接続するコード）をノイズ源となる機器またはその電線に「近づけない」「並ばせない」「同居させない」ようにすることが大切である。

1.3 信号線とノイズ

図1.3に示すごとく，平行する2本の信号線があると，その間には，ストレキャパシタンス（浮遊容量）が存在し，一方の線に交流電圧が掛かっていると，キャパシタンスを通して他方に電圧が伝わる。これを，静電誘導という。

2本の平行線は，その間に相互インダクタンスを持っているため，一方に交流電流が流れると，他方に電圧を誘起する。これを電磁誘導と呼ぶ。

また，電気の導体は，アンテナ作用を持っている。信号は空中を電波（電磁波）の形で伝わる。アンテナは，空中に電波を発射する。これを輻射という。アンテナはまた，空中の電波を取り込む。距離が離れているときでも，相互にアンテナになることによって，輻射を介して，ノイズが伝わる³⁾。

つまり，電子機器に接続される電源線，信号線，もちろん接地線等も

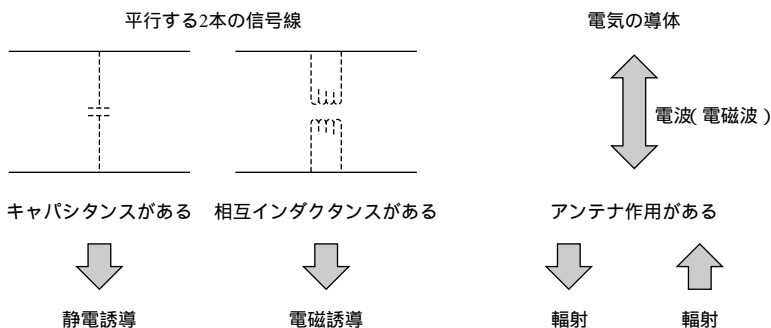


図1.3 平行する2本の信号線

全てアンテナとなり導体伝搬ノイズや，空中伝搬ノイズを送受することになる。

ここで注意すべきことは，電子機器，電源線，信号線，接地線は全てノイズの被害者であると同時にノイズを放出する加害者でもある，ということである。

1.4 電磁環境両立性 (EMC : Electromagnetic Compatibility)

図 1.4 に示すごとく全ての電子機器は，加害者としての輻射ノイズ（エミッション：emission）放出と，被害者としての外来ノイズ耐性である妨害耐性（イミュニティ：immunity）を持っており，IEC60601-1-2 で工業機器（クラス A）と家庭機器（クラス B）および医用電気機器について規定されている。

クラス B の家庭機器の場合，外来ノイズ耐性は 1 V/m であり輻射ノイズは 300 mV/m であるが，医用電気機器では，外来ノイズ耐性については最も大きな 3 V/m という数値制限をつけており，輻射ノイズについては，最も小さな 100 mV/m 以下と限定している。つまり，家庭機器と比較して前後 3 倍のマージンを持っている。

なお，工場等での工業機器設備に関しては，費用対効果の面から EMC が考えられ，生産効率向上の視点から機器 - 機器間でのノイズ対策が考えられてきたが，今後は運転・監視を担当している作業員の健康面についても配慮して，機器 - 人の関係で電磁波暴露対策についても対処していくことが重要である。

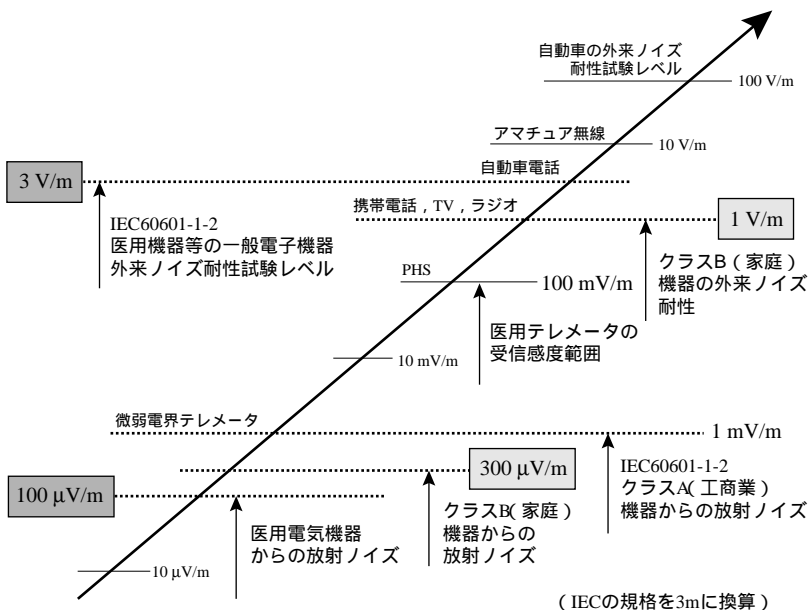


図 1.4 輻射ノイズ (エミッション) と外來ノイズ耐性 (イミュニティ)

1.5 EMC と医用電気機器

図 1.5 に EMC 問題の関係を示す。 生体への影響 (電磁波曝露), 電気製品・電子機器への影響 (誤動作), 電磁妨害波の影響 (受信妨害) である。医用電気機器の EMC 規格としては, 不具合時に人体の影響が比較的小さいクラス (ex. 骨密度測定器) から心臓ペースメーカーのように不具合時に生命の危険に直結する可能性があるクラス まで

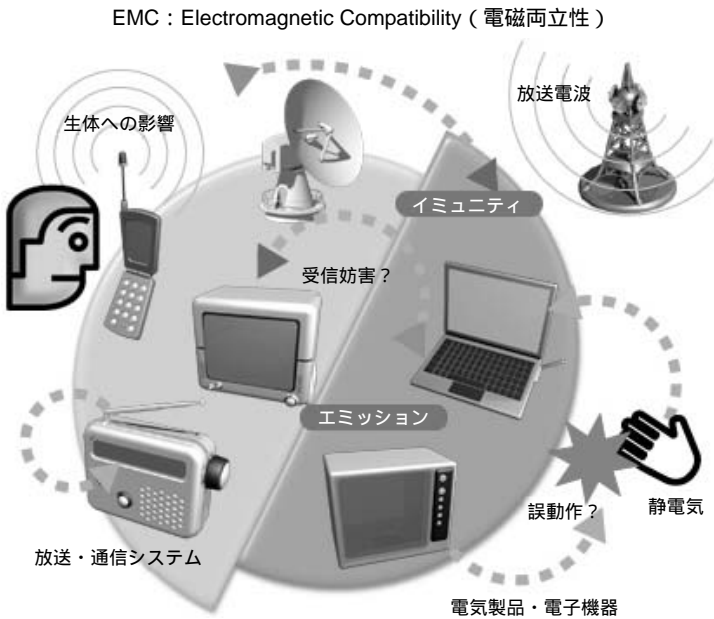


図 1.5 EMCにおけるエミッションとイミュニティの関係⁴⁾

に分類されており，EMC適合品の使用が義務付けられている。代表的なものとしては，医療施設の手術室等で採用されている電磁波を低減した低ノイズ照明器具（ISPR・IEC規格適合）がある。現実問題として，病院（医療機関）内での電磁波環境を基準値以下に制限するためには，医用電機機器以外のパソコンや携帯電話端末機器の持込・使用制限を厳格に実施していく必要がある。ここで問題として残るのが，在宅治療が行われる家庭を含めた生活環境でのEMC問題である。単なるノイズ対応だけでなく，補聴器，携帯電話といった一般的なものから植え込み型心臓ペースメーカーまで，電磁波暴露と電磁波干渉についてもしっかりと理解していただきたい。

1.6 電気導体のアンテナ効果

図1.6に示すごとく、関係する周波数の波長 (λ) の1/6よりも大きな距離では、電界、及び磁界は電氣的、及び磁氣的な成分の双方による電磁界 (EM フィールド) となる。完全な電磁界への変化は、コンピュータで使用している 30 MHz では 1.5 m, 携帯電話で使用している 900 MHz では 50 mm で起きる⁵⁾。図1.6左下に示す、導体長と最大使用周波数の関係でいちばん右側の線は完全なアンテナとなる導体長と周波数の関係を示しており、導体の長さが1/4波長の奇数倍になるところで、そのインピーダンスが非常に高くなる。つまり、アンテナとして働き、雑音を輻射することになるので、インピーダンスを低く保ち且つ輻射を防ぐた

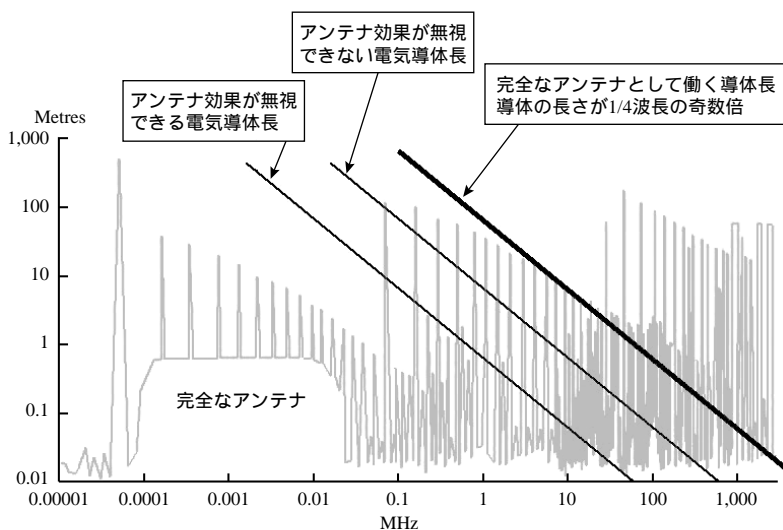


図1.6 電気導体のアンテナ効果⁵⁾

めに導体の長さを波長の1/50以下に保つことが必要となる。

ここで、最も左の、アンテナ効果が普通は無視できるほど短い長さの導体長について調べてみると、波長の1/200以下であることが判る。

ここで、導体のアンテナ効果以外の側面から、電子機器の信号配線について考えてみる。直径2 mm以下のワイヤの固有キャパシタンスやインダクタンスに関する親指の法則は、1インチ当たり1 pF、そして1 mm当たり1 nHである⁵⁾。

図1.7に示すごとく、LAN用ケーブルとして最も多く用いられているツイスト・ペア・ケーブルにコネクタを取り付けるとき、対の撚り戻し長をできるだけ短くするように指導している。ちなみに、適用周波数が最大20 MHzのカテゴリー（Cat.）4のケーブルでは、撚り戻し長を25 mm以下にするように指導されている。

【表1】カテゴリごとの撚り戻し長の値

規 格	カテゴリ3	カテゴリ4	カテゴリ5	カテゴリ5e以上
ANSI/TIA/EIA-568-B (2001/4発行)	76 mm(3インチ) 以下を維持すること			13 mm(1/2インチ) 以下を維持すること
ISO/IEC 11801 第1版 (1995/7発行)		25 mm(1インチ) 以下が望ましい	13 mm(1/2インチ) 以下が望ましい	

【表2】ISO/IEC 11801 第2版制定までに審議された撚り戻し長

審議時期	カテゴリ5	カテゴリ6	カテゴリ7
1999年6月	13 mm(1/2インチ)以下が望ましい		
2000年5月	13 mm(1/2インチ) 以下が望ましい	6 mm(1/4インチ) 以下が望ましい	2 mm(1/8インチ弱) 以下が望ましい
2000年9月	13 mm(1/2インチ) 以下が望ましい	6 mm(1/4インチ) 以下が望ましい	3 mm(1/8インチ) 以下が望ましい
2001年4月	記述なし		

ISO/IEC 11801 第2版のカテゴリ5は、ANSI/TIA/EIA-568-Bのカテゴリ5eに相当します。

図 1.7 撚り戻し長⁶⁾

長さ 25 mm，直径 1 mm のワイヤは 1 pF 前後の固有空間蓄積容量を持つ。もし，長さ 25 mm のワイヤの切れ端が自由空間で完全な 5 V ピーク・ピークの 16 MHz 方形波で駆動されたならば，その 16 MHz の 11 次高調波はそのワイヤを駆動するだけのために 0.45 mA を要する。

また，長さ 10 mm で直径 1 mm のコネクタ・ピンは 10 nH 前後の固有インダクタンスを持つことから，16 MHz の方形波で駆動しようとした場合，このピンにおける電圧降下は 40 mV 前後となり⁵⁾，信号の品質保持 EMC 面でかなり問題となる。

一般的に 3 MHz 以上の高い周波数を扱う信号配線では，ケーブル固有の抵抗，容量，インダクタンスなどに特別の配慮が必要なことを電気設備技術者，情報配線施工技術者，IT 関係技術者は知っておいていただきたい。

1.7 送受信信号レベルの推移

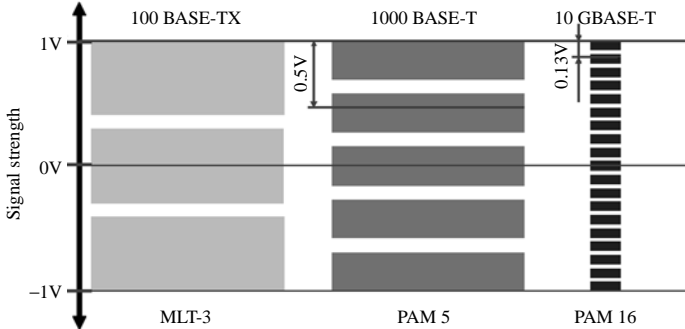
電子機器の回路がトランジスタから集積回路へと置き換わり，情報を運ぶ信号電圧も 5 V → 1 V と低消費電力化したため，今まで問題視されなかった不要電磁波（電磁ノイズ）問題が起こってきているのである。

図 1.8 に示したものは，現在の LAN ケーブルで用いられている 100 BASE-TX（左），1000 BASE-T（中央），10 GBASE-T（右）で用いられている送信（上段）と受信（下段）の信号レベルである。

ちなみに，100 Mbps までの伝送では，ツイストペアケーブルの 4 対のうち，送信と受信で異なる対線を利用する-TX タイプが主体であったが，より高速を目指そうとしている 1 Gbps 以上を対象とする Cat.6，7 タイプ

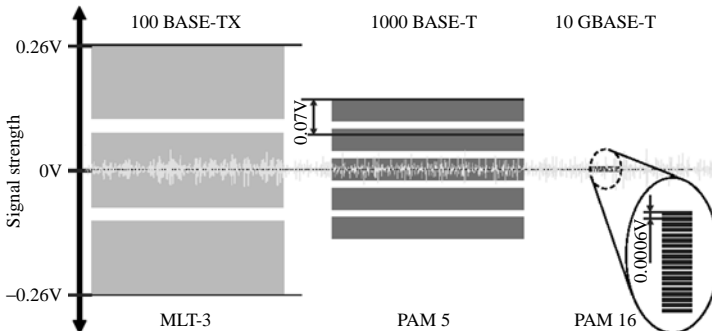
コード化の発展(1) 送信

送信信号のレベル



コード化の発展(2) 受信

受信信号のレベル

図 1.8 送受信信号レベルの推移⁷⁾

のケーブルでは、より高い周波数に対応するケーブルの開発が難しいことから送信と受信を同一対線で行うことにより、使用する周波数を小さく出来る-Tタイプが発表されている。

送信信号の電圧レベルを見てみると、100 BASE-TXで1.0 Vだったものが、1000 BASE-Tでは0.5 V、10 GBASE-Tでは0.13 Vと極端に小さく

なっていることが判る

さらに、受信信号の電圧レベルを見てみると、100 BASE-TXで0.15 Vだったものが、1000 BASE-Tでは0.07 V、10 GBASE-Tでは0.0006 Vと信号ケーブル上のノイズレベルより小さくなっていることが判る。

信号に適用されている符号化あるいは、変調（振幅・周波数・位相）システムは、それぞれ固有の対雑音抗力を有しており、パルス繰り返し周波数等の符号化デジタル技術も対雑音抗力を増す目的で用いられている。

システムの雑音を最小に抑えるには、システムの帯域幅を、信号伝達に必要な最小限にとどめることが大切である。

5.7項で詳述するが、LANケーブル末端部でのコネクタ接続の際の撚り戻し長さや外皮シールドの適正な処理なくしては、ノイズの低減は難しいことを電気設備技術者、情報配線施工技術者、IT関係技術者にしっかりと理解していただきたい。