

EMC対策技術に関する研究 I

—ケーブルのEMC対策に関する考察—

大力 賢次* 寺門 清** 桜井 勲***
 渡辺 文夫*** 丸山 智好**** 藤澤 唯之*****
 相沢 秀行*****

1. 緒 言

近年、電気・電子機器の電磁障害が問題となっている。自社製品に対する的確なノイズ対策を実施するために、必要な知識・技術・ノウハウの習得を目的として、平成6年6月に研究会が発足した。会の活動内容は、電磁障害に関する各国の規格、測定方法、障害のメカニズム、および対策技術についての実習・検討・評価等である。

ケーブルのノイズ対策に的をしぼり、ツイストペア線の効果、接地方法によるシールド線の効果等が、実際にどの程度なのか、また、より効果的な手法についての検討を目的とした研究を実施した。

実験は、バラ線、ツイストペア線、単芯、2芯のシールド線を使用し、線種、シールド接地方法によるEMI/EMS効果の違いについての評価・検討をおこなった。実験のために、先ず実験装置を試作した。その実験装置により、EMI制御効果の評価は小型電波暗室内において電界強度測定によった。また、EMS耐性効果は、オシロスコープによる電圧波形観測により評価した。

上記の実験により、得られた結果を以下に報告する。

2. 実験内容

2.1 実験装置の試作

実験にあたっては、実際の機器内部配線・機器間のインターフェースケーブルより発生しているノイズを再現することとした。そのために試作した実験装置のブロック図を図1に示す。実験装置は、ノイズの発生側（基板A）と受信・終端側（基板B）とから構成される。

基板Aは、EMI/EMS実験用のノイズの発振部と、EMS用試料ケーブルの基準部とで構成されている。発振部では8MHzのクロック発振器で矩形波を発生し、74LS04を介して伝送線路上に出力することとした。

基板B上の、信号源の終端部には、終端抵抗1MΩとプルアップ抵抗1kΩとした。この値は、ICの入力部を模擬した。基板Bの電源は、乾電池とし、基板Aの電源部は、比較的ノイズを発生しない安定化電源（ドロップ方式、三端子レギュレータ使用）とした。

回路基板等からの不要輻射をなくすため各種対策を施した。また、電子回路基板をアルミの筐体によりシールドし、その筐体をフレームグラウンド（FG）とした。

2.2 EMI抑制効果の測定

2.2.1 測定方法

EMI抑制の効果は、電波暗室内において実施した。抑制効果は、各種設定の違いによる、放射電界強度の測定データを測定・比較することによった。測定は、スペクトラムアナライザを使用し、周波数掃引法にて全方位のピーク値を記録することとした。測定する周波数範囲は30~700MHzとした。

2.2.2 測定条件

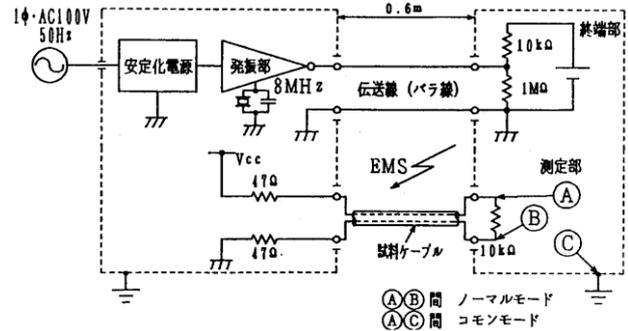


図1 実験装置のブロック図

比較に使用するケーブルを、表1に示す。単芯シールド線のシールド部は、回路の構成上、信号線が2芯必要となるため、リターン線としてSGに接続した。また、2芯シールド線の場合はシールド部の接地の状態を考慮して測定することとした。ケーブル長は0.6m、実験装置にはコネクタにより接続した。接地条件の遠端接地は、基板BのFGへシールドを接地したもので、近端接地は基板AのFGへシールドを接地したものである。

2.3 EMS効果の測定

2.3.1 測定方法

試料ケーブルは、伝送線と平行に配置し47Ωを接続した電位基準部を設け、もう一方には終端抵抗10kΩを接続し測定点とした。

測定方法は、伝送線に流れる8MHzのクロック電圧が、試料ケーブルに誘起する電圧をオシロスコープにより、コモンモード（CMV）・ノーマルモード（NMV）各々の電圧を測定する。

2.3.2 実験条件

実験に使用した試料ケーブルの組み合わせは、2.2.1項の表1に示した組み合わせによる。ノイズ電圧の測定点は、図1の測定部により、AB間はノーマルモード（NMV）、AC間はコモンモード（CMV）を表す。

表1 実験用試料ケーブル

1	バラ線（接地なし）
2	ツイストペア線（接地なし）
3	単芯シールド線（接地なし）
4	2芯シールド線（接地なし）
5	2芯シールド線 1点接地（遠端接地）
6	2芯シールド線 1点接地（近端接地）
7	2芯シールド線 2点接地（遠端接地）-近端接地

3. 実験結果と考察

3.1 EMI実験結果と考察

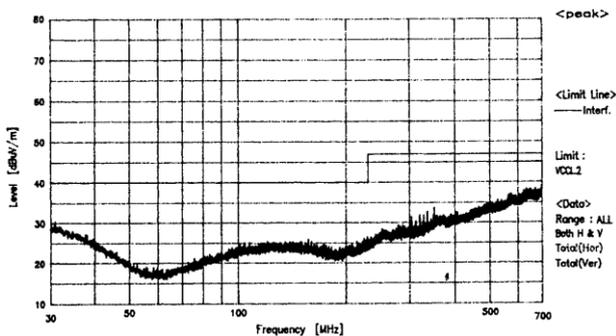


図2 実験装置からのノイズ

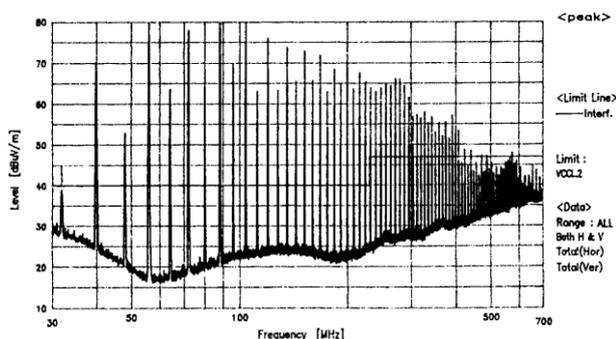


図3 バラ線からのノイズ

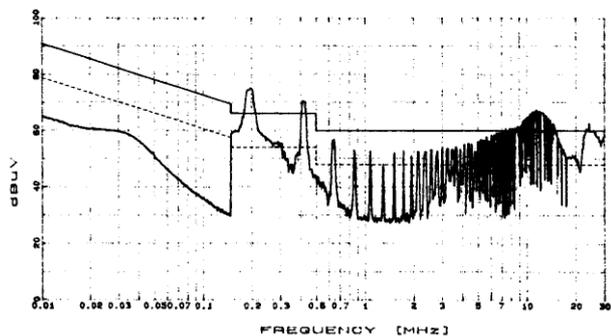


図4 シールド線2点接地のノイズ

測定結果の一部を図2～図4 に示す。図2 は、実験装置のケーブルが無い状態の電界強度のスペクトラムアナリシスである。装置自体からのノイズ放射はほとんど見られない。図3 は、今回の実験で最もノイズ量の多かったバラ線のデータ。更に図4 はノイズ量が少なかった、シールド2点接地によるデータである。

これらの測定結果を、4 つの帯域に分け、各帯域内のピーク値の平均値を求めた結果を表2 に示す。

実験結果から、ケーブルの種類・接地方法によって放射電界強度が大きく変わることは明らかである。これらの結果を基に、ワイヤリング手法によるEMI抑制効果について以下のような検討・評価をおこなった。

(1) ツイストペア線とバラ線の差

一般的にノイズ関連の文献にはツイストペアの記述があり、誘導結合によるノイズへの効果が謳われている。しかしながら、本実験においては、バラ線とツイストペア線の結果には差がなかった。

つまり、ノイズ発生源となるインピーダンスの高い伝送線路に、ツイストペアを施しても、EMI対策としての効果は期待できないということである。高周波を使用している機器の内部配線に、EMI対策として、コストの高いツイストペア線を使用することは疑問である。

(2) 接地をしないシールド線

2 芯シールドの接地無しとツイストペア線の結果を比較すると、測定結果にはほとんど差がみられない。前者の方が、わずかに定周波数領域でツイストペア線より効果がみられる程度である。接地をしないシールド線は、シールドがグラウンドに対するインピーダンスが高く、静電誘導電圧を下げる効果がないためである。

(3) 単芯シールド

実験結果では、最も抑制効果の高い周波数領域が30～70MHz帯であった。その帯域では、2 芯シールドの1 点接地よりも抑制効果があった。これは、単芯シールド外皮である編組線をリターン線（シグナルグラウンド）とする事により、接地インピーダンスが低くなったからだと考察される。また、2 芯シールド線の2 点接地にもあらわれている、電磁シールド効果も作用していると考えられるが、その程度は不明である。

(4) 2 芯シールドの1 点接地

2 芯シールドの接地で、近端接地と遠端接地とを比較した結果、信号近端において接地した方が、EMI抑制効果が大きかった。ノイズ抑制には発生源のより近点で、インピーダンスを低く抑えることが効果である。

(5) 2 点接地の効果

今回の実験では、2 芯シールド線の2 点接地が、最もEMI抑制効果がみられた。その主要要因は、電磁シールド効果によるものである。すなわち、シールド部を2 点接地することにより芯線を通るコモンモードノイズ電流により、シールド線に逆方向の起電力が発生し、ノイズの放射を打ち消すこととなったと考えられる。さらには、シールド線のインピーダンスが、シールド線の2 点接地により、最も低くなったと考えられる。

しかしこの2 点接地の測定結果では、同様の効果が考えられる1 芯シールドとの差が大きい。そこで更に他の要因を考えてみる必要がある。

一つには、1 芯シールドとの大きな違いとして、シールド部の接地場所の違いがある。この接地場所の違いにより、そ

表2 EMI測定結果

実験試料	放射電界強度値 (dBuV/m)				全体
	30～80	80～200	200～400	400～700	
A.バラ線	65	70	60	44	—
B.ツイストペア線	65	68	59	43	効果なし
線Aとの差	0	-2	-1	-1	
C.1 芯のシールド 線接地なし	52	61	59	44	30～100MHz で効果あり
線Aとの差	-13	-9	-1	-1	
D.1 芯のシールド 線接地なし	60	68	58	42	効果微小
線Aとの差	-5	-2	-2	-2	
2 芯のシールド 遠端接地	62	61	59	42	90～200MHz で効果あり
線Aとの差	-3	-9	-1	-2	
2 芯のシールド 近端接地	62	57	56	39	90～300MHz で効果あり
線Aとの差	-3	-13	-4	-5	
2 芯のシールド 2 点接地	40	38	49	36	効果大
線Aとの差	-25	-32	-11	-8	

の静電シールドの効果に差異が生じたことが考えられる。また、電磁シールドの効果についても、1 芯シールドの場合は、シールド部が、同時に信号ラインであるため、ノイズの放射源となっている点も影響していると考えられる。

3.2 EMS実験結果と考察

実験によって得られたオシロスコープの電圧波形において、その波形のVP-P 値の最大値を求め、他の資料との比較をしたデータを表3 に示す。

この結果を基に、ワイヤリング手法によるEMS抑制効果について以下のような検討・評価をおこなった。

表3 EMS実験結果

測定 実験試料	耐性 (V)		
	NMV	CMV	全体評価
A.バラ線	430	576	—
B.ツイストペア線	214	460	NMV:効果あり CMV:効果微小
線A との差	-216	-116	
C.1 線のシールド 線接地なし	232	500	NMV:効果あり CMV:効果微小
線A との差	-198	-76	
D.2 線のシールド 線接地なし	274	488	NMV:効果あり CMV:効果微小
線A との差	-156	-88	
2 線のシールド 遠端接地	126	164	NMV:効果大 CMV:効果大
線A との差	-304	-412	
2 線のシールド 近端接地	260	600	NMV:効果あり CMV:効果微小
線A との差	-170	24	
2 線のシールド 2 点接地	164	136	NMV:効果あり CMV:効果大
線A との差	-266	-440	

(1) ツイストペア線

ケーブルのより合わせにより、誘導結合抑制効果が有り、ノーマルモードノイズの低減が認められる。すなわち、外来ノイズの磁束φがツイストペア線のループと鎖交する事により、それぞれのループにノイズ電流が発生するが、隣同士のループ間に発生する電流の極性が逆になるため、打ち消し合い、ノイズ電流が減少するのである。また、ツイストペア線は、平衡（2 本のバランスが取れている）しているため、コモンモードノイズ低減にも、ある程度効果が認められる。

(2) 1 線のシールド線

ノーマルモードノイズの低減が認められる。これは、バラ線に比べ、シールド線の信号線と編組によるループが小さいことにより誘導結合が小さくなったためと考えられる。なお、

編組を接地していないため、容量結合抑制効果はなく、コモンモードノイズは、余り減っていない（バラ線よりもコモンモードノイズが少ない理由は、浮遊容量が小さいことが考えられる）。

(4) シールド線1 点接地

遠端接地では、ノーマルモードノイズ/コモンモードノイズの両方に顕著な低減効果が認められる。ノイズ電圧は、遠端と近端の両方に発生するが、近端に発生するノイズは、結合（容量性と誘導性の）がケーブル長に依存するので、ケーブル長が短い場合には、遠端ノイズの占める割合が大きくなる。そのため、シールドの遠端1 点接地により容量性の遠端ノイズを効果的に抑制できていると考える。

これに対し近端接地では、ノーマルモードノイズがわずかに低減しているだけである。これは、ツイストペア線による誘導結合抑制効果によるものであろう。

(5) シールド線2 点接地

ノーマルモードおよびコモンモードの両方に低減効果が認められる。

a. ノーマルモードノイズ

2 点で接地されたシールドには、ノイズ発生源からの相互インダクタンス M_{12} によって生じる電圧 V_S に起因する電流 I_S が流れる。この電流によって、シールド部と信号線の間の相互インダクタンス M_{23} により電圧 V_N' が誘起される。この V_N' は、信号線に発生するノイズ V_N'' と逆の符号を持っている。したがって、信号線に誘起されるノイズ電圧 V_N は、次式で表されるように低下する。

$$V_N = |V_N' - V_N''|$$

b. コモンモードノイズ

シールド線を2 点接地することにより、グラウンドとのインピーダンスがより低くなっている。また、ノーマルモードノイズの低下にともない、ノーマルモードノイズのコモンモード化の減少効果もあると考えられる。

4. 結 言

本研究により、TTL入出力の伝送線路において使用する、ケーブルのEMI抑制効果（ケーブル長0.6m帯域：30MHz～1GHz）として、次のような結論を得ることができた。

- ①ツイストペア線のEMI抑制効果は、ほとんど期待できない。
 - ②シールド線は接地をしないと、EMC抑制効果はない。
 - ③2 芯シールド線2 点接地が最もEMC抑制効果がある。
 - ④2 芯シールド線では、1 点接地の場合、近端で接地をする方がEMI抑制効果があるが、EMS抑制効果は遠端で接地した場合の方がある。
 - ⑤低周波領域において、単芯シールド線は、2 芯シールド線の1 点接地よりもEMI抑制効果がある。
- 今回の実験で、より実際の電子回路・製品に近い状態を模擬した結果、グラウンド系・共通インピーダンス・筐体等の不確定要素が多くなり、評価・検討する際に難解となってしまった。
- 今後の課題としてはケーブルの長さ、回路の電圧・電流（終端抵抗の値）、ツイストピッチなどによるノイズ発生との関係を追及したい。ますます規制が厳しくなる中、限られた枠の

中でいかに製品をつくり続けていくか、まだまだ多くの問題が残されている。ノイズは絶対的なものではなく相対的なものである事を理解し、得られた知識を基にさらに研究を続ける予定である。

このように、実際のデータと、各種参考文献等を検討・評価を重ね、その成果を各企業に持ち返ることにより、EMCに関する社内規格的なものを整備し、自社における的確かつ効率の良い、設計段階からのEMC対策の一助となることを期待している。

参考文献

- 1) 「トランジスタ技術 SPECIAL No.22」 P101：CQ出版社
- 2) 伊藤健一：「アースと雑音」 P80-81：日刊工業新聞社
- 3) ジョン・J・グラント（米オーガット社）：
NIKKEELECTRONICS 1985.5.20 P304-306
- 4) 電気書院編集部編：「こうすれば防げるノイズ防止の秘
作戦」 P187-188:電気書院
- 5) 岡村勉夫：「解析 ノイズメカニズム」 CQ出版社
- 6) 角居洋司、吉村裕光：「アンテナ・ハンドブック」 CQ
出版社