

高速差動インタフェースのEMC対策

コモンモードフィルタはどのように差動伝送回路のEMIを抑えるのか？

TDK株式会社 アプリケーションセンター 梅村 昌生

1 | 高速インタフェースの種類

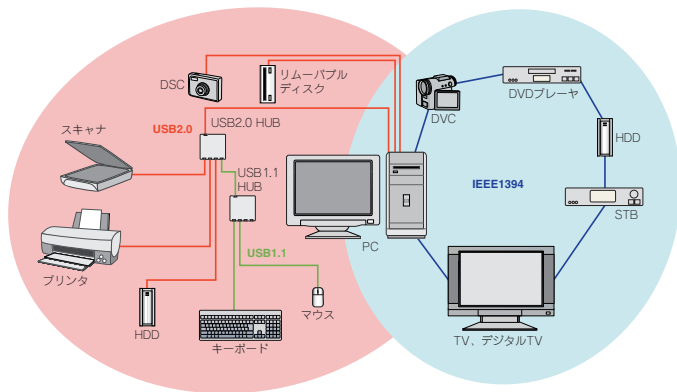
PCのみならず情報家電が進んでいく中で、AV関連機器でもインターネット接続ができるようになり、信号の劣化のないデジタル情報のインタフェースが多く使用されるようになってきています。

ここでは、PCや、情報家電といわれる機器で使用が進んできている高速インタフェースについて、信号の説明と適切なEMC対策について述べていきます。

主な高速インタフェース

USB:PCの周辺機器(図1)とその周辺機器(CD-ROM、スキャナ、プリンタ、DSCなど)を接続するのに使われます。2000年に策定されたUSB2.0の規格になってからLS(1.5Mbps)、FS(12Mbps)、HS(480Mbps)の3種類の転送スピードが使用可能であり、DSCの写真データなども高速に転送できるようになっています(写真1)。

図1 USBとIEEE1394の使用機器



デジタルオーディオ機器ではPCを通してインターネットから音楽ファイルのダウンロードに標準インタフェースとして使用されています。

最近では、音楽ファイルだけでなく動画コンテンツを携帯機器で視聴することもできるようになり、さらなる高速化も必要となります。

その要望に応える形で2008年に5Gbps伝送を可能にする「USB3.0」の規格がリリースされました。大容量の動画コンテンツ配信などの需要を背景にPCだけでなく、携帯電話やデジタルオーディオ機器にも広がる可能性もあり、今後の動向が注目されるインタフェースです。

写真1 USBとは

- ・PCとその周辺機器を接続するためのインタフェースで、Universal Serial Busの略
- ・Data+、Data-の差動信号ラインと、電源・GNDラインの計4ラインによって構成される
- ・転送スピードは3種類
USB 1.1では、LS(Low Speed)：1.5MbpsとFS(Full Speed)：12Mbpsの転送をサポートしていたが、2.0では、これらにHS(High Speed)：480Mbpsが加えられた
- ・接続にはホストになるPCが必要
- ・HUBを用いてポートの拡張を行い、最大で127のデバイスが利用可能

USBのコネクタ



シリーズA



シリーズB

USBのレセプタクル



シリーズA



シリーズB

写真2 IEEEとは

- ・PCやその周辺機器、AV機器等を接続するためのインタフェース
- ・TPA、TPBの2組の差動信号ラインと、電源・GNDラインの計6ラインによって構成される
(電源・GNDラインを省いた4ピンのコネクタもある)
- ・転送スピードは3種類(S100：100Mbps、S200：200Mbps、S400：400Mbps)
ただし、1394.bでは800Mbps~をサポート予定
- ・基本的にはホストPCは不要であり、デバイス同士で接続可能
- ・1つのバスにつき、最大で63のデバイスが利用可能

IEEE 1394のコネクタ



6ピンタイプ



4ピンタイプ

IEEE 1394のレセプタクル



6ピンタイプ



4ピンタイプ

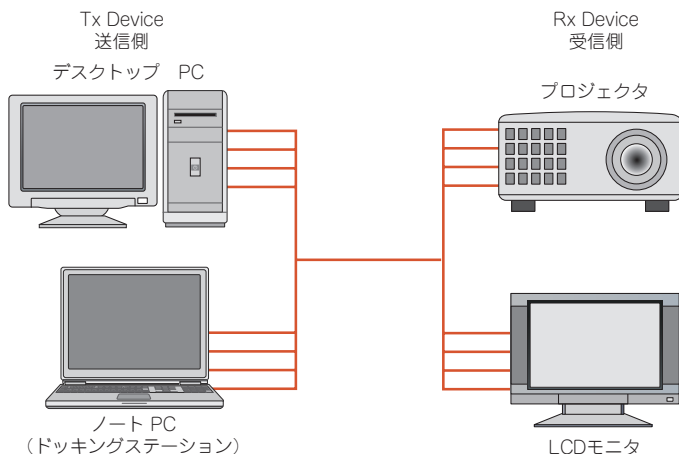
IEEE1394 : Apple Computer社によって提唱されたFirewireと言うインターフェイスが、IEEEで規格として採用され一般的になってきたものです (図1、写真2)。100 ~ 800Mbpsまで実用化されており、薄型TV、DVDレコーダ、DVCなどを中心として映像機器関連の標準的なインターフェイスとなっています。

3.2Gbpsまでの高速化のロードマップも策定されており、今後、より高速な通信が可能になると考えられます。特別な場合を除いてHOSTという概念を必要とせず、AV機器どうしの接続でもリモコンなどからの簡単な操作でMPEG信号などの高速な転送、録画などが可能となっています。方向性は半2重となっています。

DVI/HDMI : 従来使用されていたPCの、モニタなどへの画像信号の出力に使用されていたアナログRGBをデジタル化するためのインターフェイスです。非圧縮のまま生のデジタル映像信号を高速で転送します。TMDS方式を使用し最高速度は1.65Gbpsにも達し、伝送に使われる周波数は、基本は750MHzにも達します。DVIは、映像信号のみを伝送します (図2)。

図2 DVI Interface (Panel Link) の使用例

* DVI : Digital Visual Interface

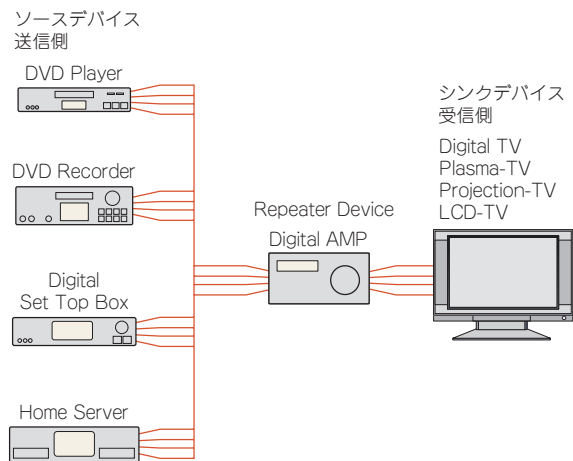


HDMIは、AV機器を接続するためにDVIの映像信号に加え、音声信号も同時に送信でき、著作権保護のためのコピープロテクションも包含しており、アメリカでは、デジタルTVへのHDMI端子の装備が義務付けられており、今後急速に普及していくインターフェイスとなっています (図3)。方向性はHOSTからTARGETへの1方向となります。

S-ATA : HDDのPC内でのインターフェイスとして長く、IDE方式が使われていましたが、大容量化や高速転送への対応のため、より高速なインターフェイスが求められており、シリアル化された高速なSerial-ATAが使用されてきています (図4)。スピードは3Gbpsになっており、内部接続用、外部HDD接続用などでいくつかのクラス分けがされており、伝送に使われる電圧も数種類に上ります。方向性は半2重となっています。

図3 HDMI Interfaceの使用例

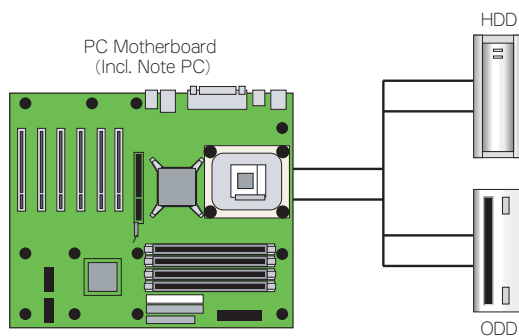
* HDMI : High Definition Multimedia Interface



* HDMI: High Definition Multimedia Interface

図4 S-ATA (Serial-ATA) の使用例

* S-ATA: Serial AT Attachment



DisplayPort : HDMI規格がAV機器同士をつなぐデジタルインターフェイスであるのに対してDisplayPortはPCとモニタをインターフェイスといえます。PCとモニタを接続するインターフェイスとしてはこれまでDVIが用いられてきましたがより小型でより高速の伝送が可能なDisplayPortに替わって行くものと考えられます。

差動ペアラインは全部で4Laneあります。1LaneあたりのLink rateは1.62Gbps (Low bit rate) と2.7Gbps (High bit rate) の2つのモードが存在します。また、DisplayPortではクロック信号がデータ信号に埋め込まれているためHDMI/LVDSのようにクロックラインが存在しません。従って最大伝送レートは2.7Gbps×4=10.8GbpsでQXGA (2048×1536) 以上の解像度にも対応できる仕様となっております。

2.7Gbps伝送時の基準周波数は1.35GHzと、GHzを超えることになり、これまでの高速インターフェイスのノイズ問題とえば1GHzまでの帯域がほとんどでしたが、DisplayPortではGHz帯に基準周波数のノイズスペクトラムが存在するため、無線機器に対する干渉問題をよく検証する必要があります。

この他にPC内部のバス接続用のPCI-Express、サーバ同士をつなぐInfinibandなど3Gbpsを超えるような高速なインターフェイスも続々発表されてきており、配線数を最小化した上で、より高速に信号伝送できるインターフェイスとして差動伝送方式の採用が今後も増えていくと予想されます (表1)。

表1 主な高速インターフェースの種類とスピード

USB1.1/USB2.0	12Mbps/480Mbps
IEEE1394.a/b	400Mbps/800Mbps
LVDS	1.12Gbps : UXGA
Mini-LVDS	1.12Gbps : UXGA
RSDS	160Mbps
SATA I/II/III	1.5Gbps/3Gbps/6Gbps
DVI	1.65Gbps : UXGA
HDMI	3.4Gbps : 1080p/16bit階調
DisplayPort	2.7Gbps
PCI Express (I/II)	2.5Gbps/5Gbps
USB3.0	5Gbps

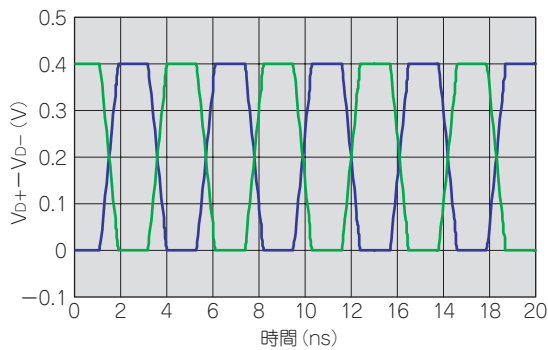
2 | 差動伝送とは？

いろいろな高速信号伝送の方式が提案、実用化されていますが、それらのEMC対策を行う上で、これらのインターフェースで多く使用されている差動伝送方式とはどういうものなのか見ていくことにします。

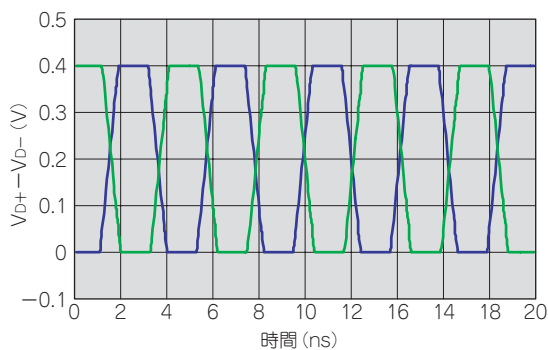
図5 差動信号の不平衡成分

差動信号波形

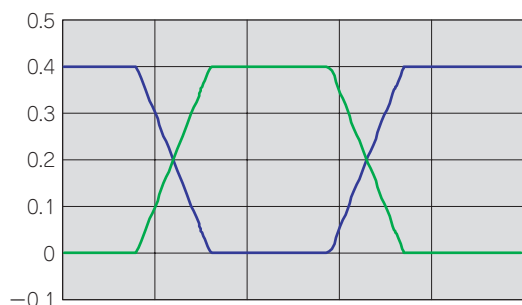
(a) 理想的な差動信号



(b) 位相ずれ (0.1nsec.)



(a) の拡大図

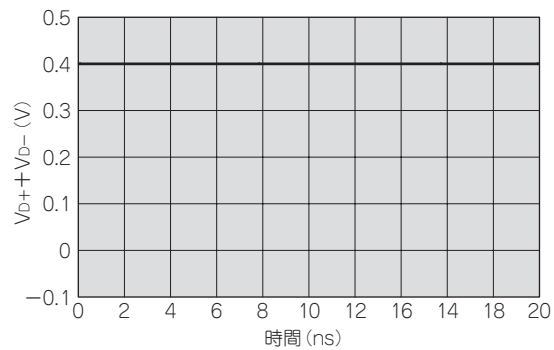


単線の信号によるデータ伝送ではなく、位相が180° 違う2つの信号を用いた2線式の伝送方式になっています。この伝送方式は平衡伝送とも呼ばれ、通常のシングルエンドの伝送方式と比較して不要輻射が小さく、また他のデバイスからのノイズの影響も受けにくいという特徴を持っています。しかし、現実には差動信号のアンバランスによってコモンモードノイズが発生したり、基板上の他の回路からノイズ電流がコネクタを經由して外に漏れたり、ケーブルをアンテナとして輻射されることもあります。

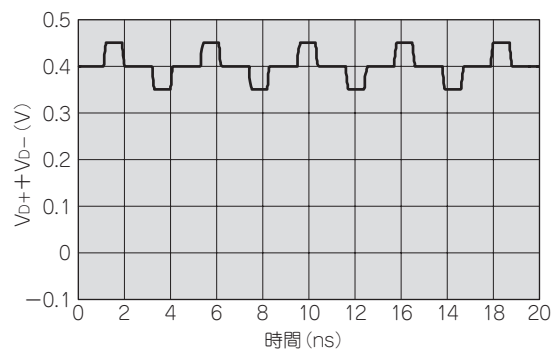
差動信号のアンバランスがコモンモードノイズの原因になると述べましたが、ここではアンバランスについて具体的に説明します。図5は理想的な差動伝送と、差動信号間で位相ずれを持った信号波形を示しています。2つの信号の和で表されるコモンモード電圧は、理想的には直線になりますが、チャンネル間の対称性が悪い信号の場合には、不平衡成分が生じます。これはスキュー（以下SKEW）とも呼ばれます。不平衡成分は、この他にも図6のような立ち上がり・

D+ + D- (コモンモード電圧)

(a) 理想的な差動信号



(b) 位相ずれ (0.1nsec.)



(b) の拡大図

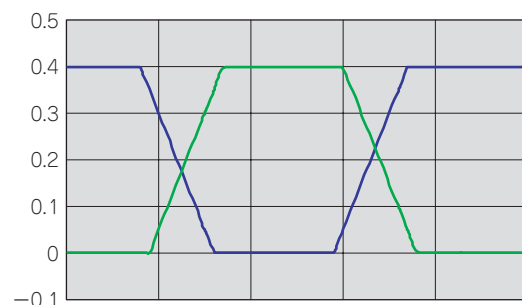
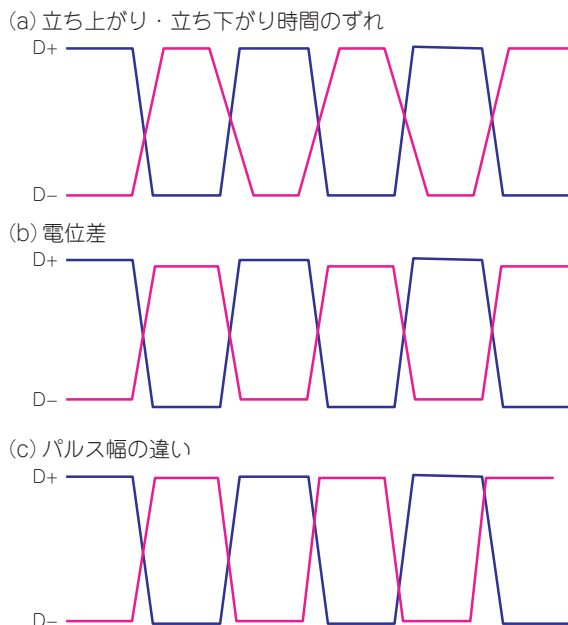


図6 その他考えられるアンバランスの原因



立ち下がり時間のずれや、パルス幅・振幅の違いなどによるアンバランスによっても発生します。また、不平衡成分の振幅が大きければ、コモンモードでの不要輻射が大きくなります。

コモンモードフィルタ（以下CMF）は2チャンネル間のコイルが結合している、1：1のトランスの特性を持つ部品です。本来の目的はコモンモード電流の抑制ですが、差動信号のアンバランスを補正する効果も併せて持っています。片側のチャンネルに信号が入力されると、もう一方のチャンネルにも同様の信号が誘導され、両ラインのバランスが保たれるのです。

図7 CMFの効果

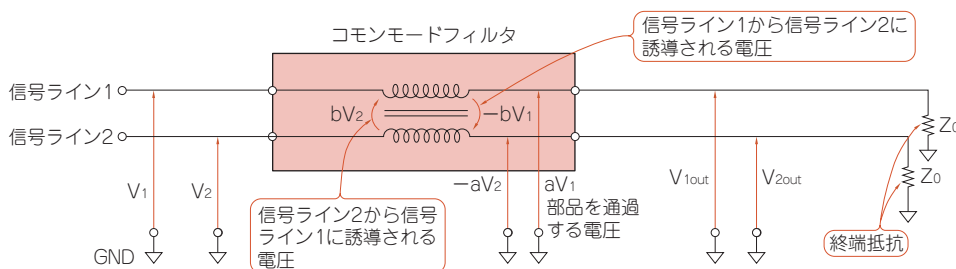


図7のように2つのチャンネルの入力電圧をV₁、-V₂として、その出力電圧をV_{1out}、-V_{2out}とします。このときの出力電圧は、それぞれのチャンネルを通過する電圧aV₁、-aV₂と誘導される電圧-bV₁、bV₂の和になります。

従って、

$$V_{1out} = aV_1 + bV_2$$

$$V_{2out} = -aV_2 - bV_1$$

となります。係数a、bはチャンネル間の結合係数やコモンモードインダクタンス、終端抵抗を含んだものです。

ここで、

結合係数：K=1、

コモンモードインピーダンス：Z_c>>終端抵抗：Z₀の場合には、a=b=1/2と等価できるので、

$$V_{1out} = -V_{2out} = V_1/2 + V_2/2$$

となり、V₁とV₂が違う値であっても、出力される電圧の絶対値は等しくなります。

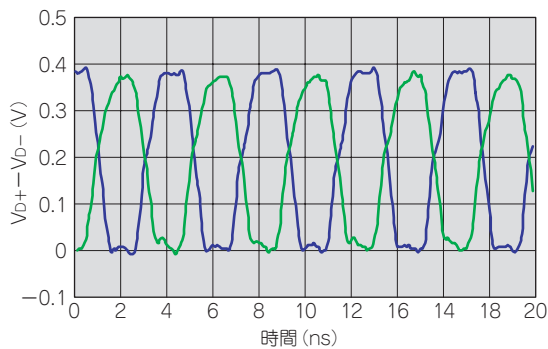
図8は、USB2.0のHS（High Speed）モードでの差動信号波形です。CMFを挿入することによってコモンモード電圧の不平衡成分が補正されていることがわかります。これにより、コモンモードでの不要輻射に対する効果が得られます。この結果からも、コモンモードフィルタは差動信号ラインのEMC対策に適した部品であるといえます。

また、CMFのディファレンシャルモードインピーダンスは、チャンネル間の磁気結合によって高周波帯域まで低く抑えられており、高速差動信号の波形品位に影響を及ぼす心配はありません。結合の高いコモンモードフィルタほど、ディファレンシャルモードインピーダンスが低く、良い部品であるといえます。SKEWの補正効果の詳細については、第4章で実験結果を示しながら説明します。具体的にどのようにEMIを抑えるのか体感できると思います。

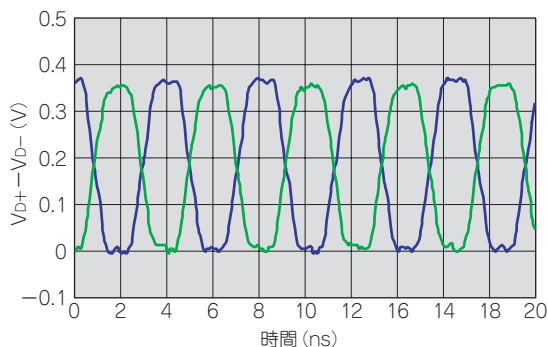
図8 差動信号の不平衡成分

差動信号波形

(a) USB2.0デバイスの差動信号

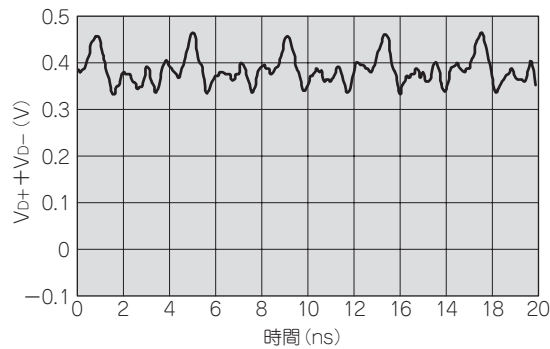


(b) CMF適用例 (ACM2012-900-2P)

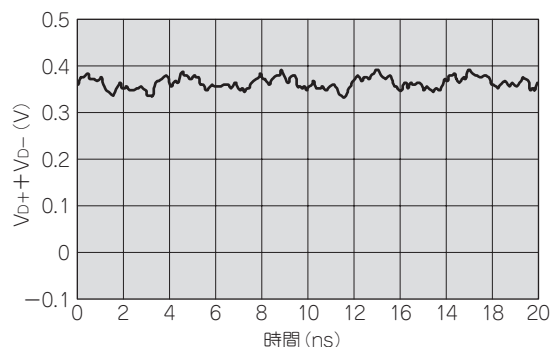


D+ + D- (コモンモード電圧)

(a) USB2.0デバイスの差動信号



(b) CMF適用例 (ACM2012-900-2P)



3 | ギガビット伝送インターフェースのEMC対策

DVI (Digital Visual Interface) と、HDMI (High Definition Multimedia Interface) では、高速なTMDS (Transition Minimized Differential Signaling) という方式を用いて圧縮なしのHDTV映像信号など大量の情報を送れるように設計されています。

デジタルテレビ、PC、DVD、STB、DVDレコーダなどのマルチメディア機器に多く使用されるようになってきています。方式的には送信側から受信側へ一方的に情報を送るための回路構成となっ

ており、双方向ではありません。スピードは1.6Gbpsにも達し、基本周波数が800MHz以上に達します。USB、IEEE1394に比べても4-5倍程度の周波数に達するため、信号品質への要求はより詳細に規定されています (図9)。

項目的には

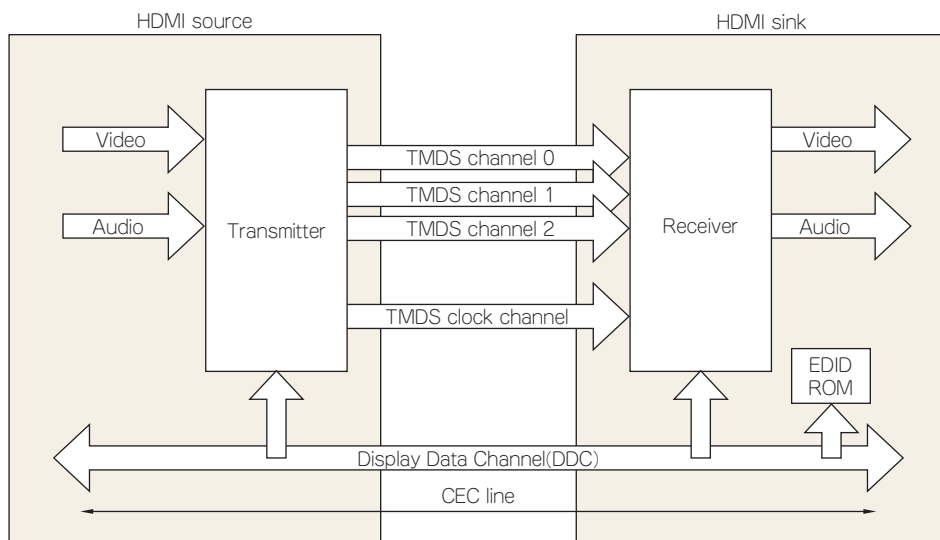
EYEパターン

伝送線路 (ケーブルや、PCB上の配線) の特性インピーダンス

などになります。

EMI対策をする上で、重要になるのがより高周波 (800MHzの

図9 HDMIインターフェースの接続概念図



5次—7次以上)のEMIが発生する場合があります、より高周波でのEMI対策が、求められます。

ここでは、DVI・HDMI・DisplayPort用に新たに開発されたCMFの特性と信号への影響、EMI低減効果についてみていくことにします。

1) HDMI/DVIIにはカットオフ周波数6GHz、DisplayPortには8GHzのコモンモードフィルタ

ギガビット信号を扱うインタフェースに挿入してEMI対策に使用する部品ですが、USB、IEEE1394でも説明したように信号品質への影響をより強く受けてしまいます。そのために必要な特性としてディファレンシャルモードでの挿入損失のカットオフ周波数を各インタフェースごとに最適化しました。それによって高速なTMDS信号をひずみなく伝送することができます。デジタル信号伝送では、最低でも基本波の5倍(5次の高調波)まで伝送することによって伝送時の信号品質を保つことができます。

HDMI用コモンモードフィルタ(ACM-H、TCM-Hシリーズ)では、6GHzのカットオフ周波数で1080pのDeep Color伝送レートで

ある2.225Gbps(約1.1GHz)の5次高調波を十分に通すことができますのでHDMIの信号品質を保つことができます。DisplayPort用コモンモードフィルタ(TCM-Uシリーズ)ではさらにカットオフ周波数を伸ばし、8GHzを実現しており、2.7Gbpsの信号に対しても全く信号品質を劣化させません(図10、図11)。

2) EYEパターン

HDMIでは、EYEパターンの規定があり信号に歪があると規格値に合格できなくなります。HDMI用コモンモードフィルタでは、6GHzの帯域幅を確保することにより余裕を持ってEYEパターンテストに合格することができます。図12に測定条件を、図13(a)にDVIにおける測定結果を示します。

同様にDisplayPortでもEyeパターンの規定があります。DisplayPort用TCM1210Uシリーズは2.7Gbpsの信号に対して、信号劣化を起こすことはありません。図13(b)は送信側基板でのEye diagramです。図13(c)は10mケーブルを使用した時のEye diagramです。10mケーブルにおいてもCMFによってEye diagramが潰れることはなく、TCM1210Uが信号品質を確保しながらノイズ抑制を行うことができる部品であることを示しています。

図10 6GHz帯域を確保したHDMI用コモンモードフィルタ

ディファレンシャル信号に対する挿入損失のカットオフ周波数が6GHzまで拡大



より高速な差動信号インタフェースにも使用が可能になる

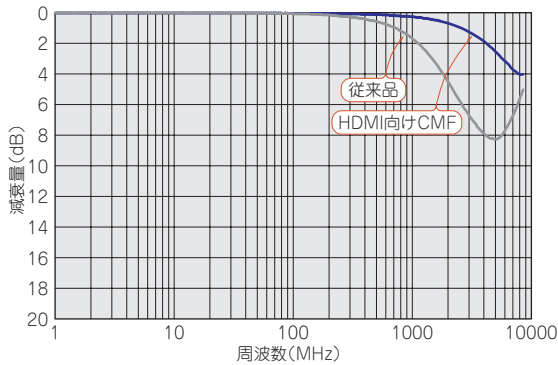


図11 高帯域・高品質巻線タイプ CMF

	2.0mm×1.2mm	小型(1.2mm×1.0mm)	
シングルタイプ	 ACM2012H-900-2P 6GHzカットオフ周波数 巻線工法 2.0mm×1.2mm×1.2mm 1080p-Deep Color (2.225Gbps)	 TCM1210H-900-2P 6GHzカットオフ周波数 薄膜工法 1.2mm×1.0mm×0.6mm 1080p-Deep Color (2.225Gbps)	 TCM1210U-500-2P 8GHzカットオフ周波数 薄膜工法 1.2mm×1.0mm×0.6mm DisplayPort対応 (2.7Gbps)
	Low profile & array(2.0mm×1.0mm)		
アレイタイプ	 TCM2012H-900-4P Thin film type 低ストローク特性 1080p-Deep Color (2.225Gbps)		

図12 DVI (UXGA : 1.65Gbps) 波形測定条件

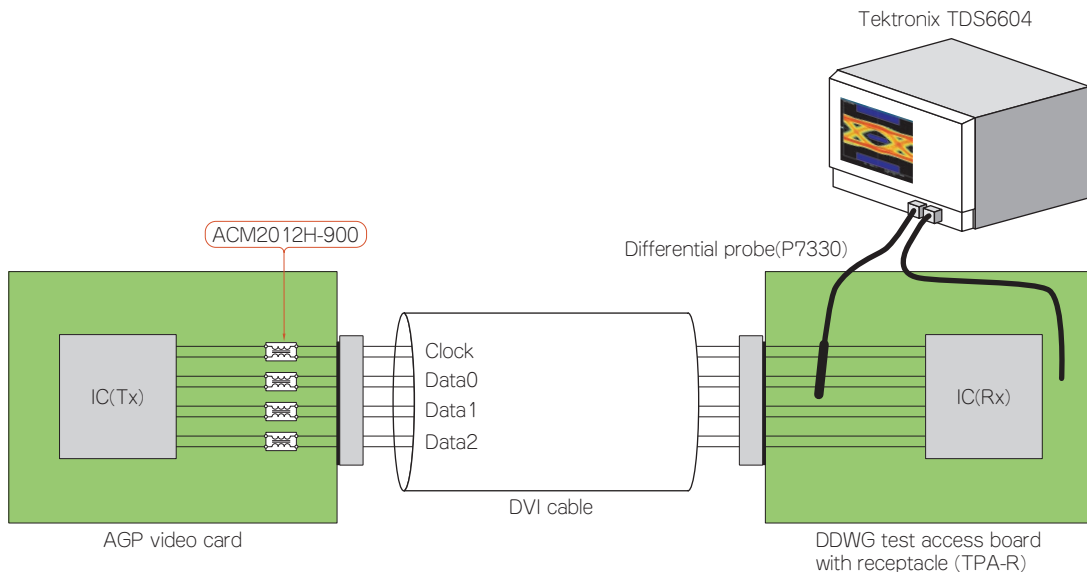
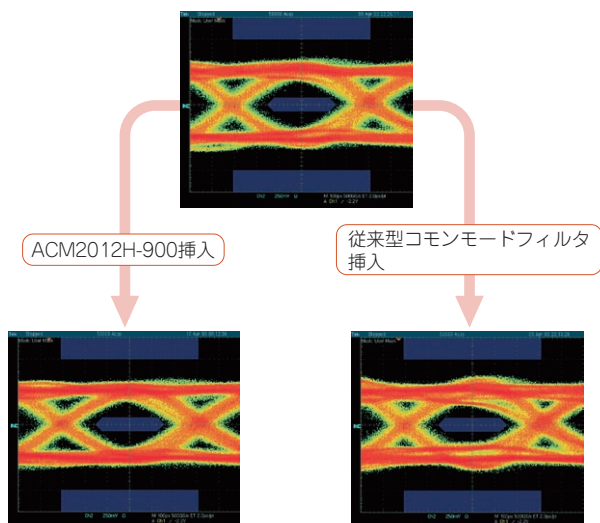
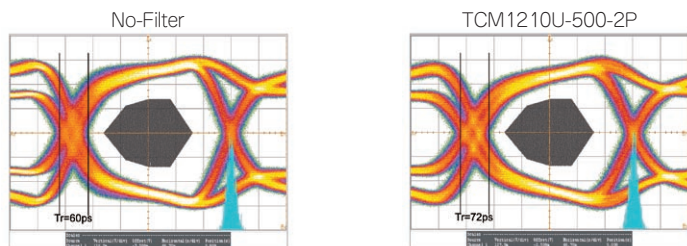


図13

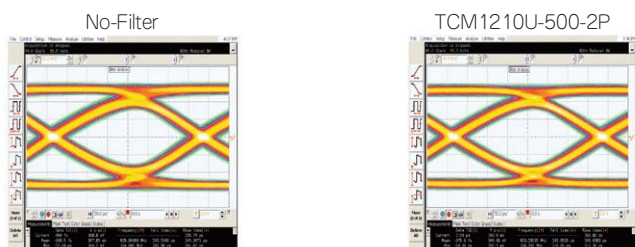
(a) HDMIの波形



(b) 送信基板側でのDisplayPort波形 (2.7Gbps伝送時)



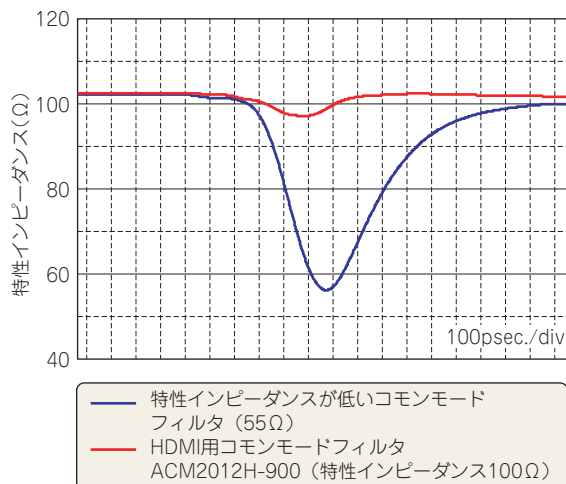
(c) 10mケーブル使用時の受信基板側でのDisplayPort波形 (2.7Gbps伝送時)



3) 特性インピーダンスへの対応

HDMIの規格の中にTDR (Time Domain Reflectometry) という特性が規定されています。これは、高速の信号を送るため、伝送線路の特性インピーダンスを規定しているもので、ICを搭載するPCB上のパターン、伝送線路の大部分を占めるケーブル、接続用のコネクタなどに対し、 $100 \pm 15 \Omega$ と規定されています。TMDS用(あるいはDVI用、HDMI用)として推奨されていない共通モードフィルタを、EMI対策のためにTMDSラインに不用意に挿入すると、この規定に外れて、HDMIの場合、相互接続性を規定しているテスト条件に合格できなくなります(HDMIには相互接続性を保証するためにコンプライアンステストが規定されており、これに合格しないとHDMI機器として認められないことになります)。HDMI用共通モードフィルタでは、線路間の特性インピーダンスが 100Ω に設計されていますので安心して挿入することができます(図14)。

図14



4) EMI測定例

HDMIにおけるEMI対策の効果例を図15に示しておきます。また、使用部品の搭載回路例を図16に示しておきます。

図15 HDMI機器でのHDMI用フィルタによるEMI低減効果

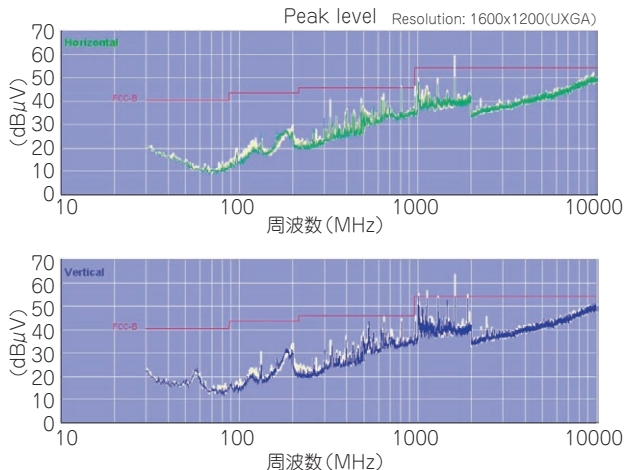
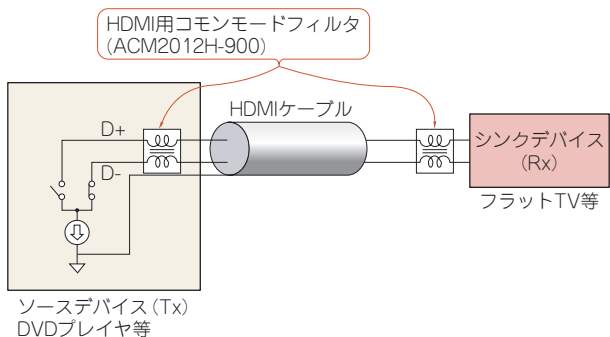


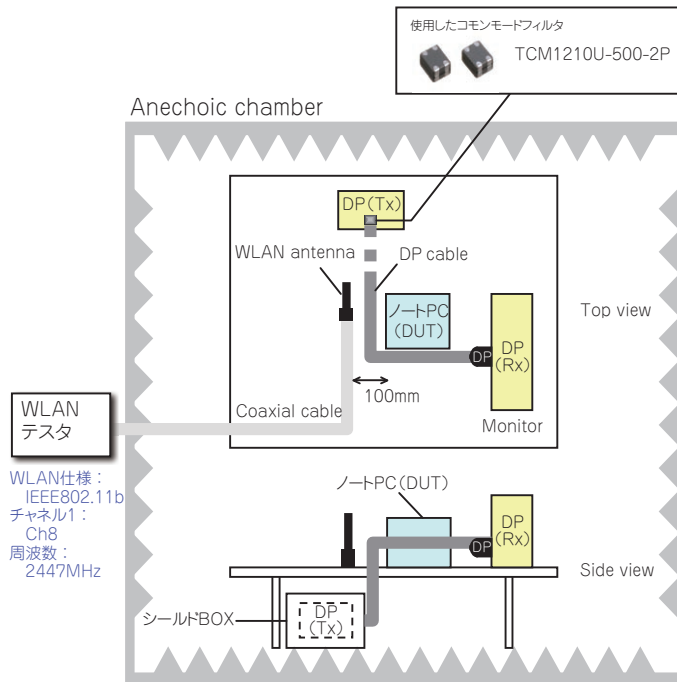
図16 データチャンネル3対とクロック信号1対の合計4対の差動ラインに同様の対策を施す



DisplayPortでは他のインタフェース同様、輻射ノイズを考慮しなければなりません。PC/ディスプレイが対象セットとなるため、PCに搭載されるWLAN、Bluetoothなどの無線機器に対するノイズ干渉を考慮する必要があります。このノイズ干渉問題においても共通モードフィルタが有効となります。図17は無線機器の影響を検証するための測定図です。図18に測定結果を示します。無線機器としてはWLANを使用しました。2.4GHz帯の11bですが、ノイズ対策部品なしの場合と部品搭載時のWLAN受信感度が異なることが確認されます。フィルタ搭載により2dB ~ 3dB程改善されていることが示されます。

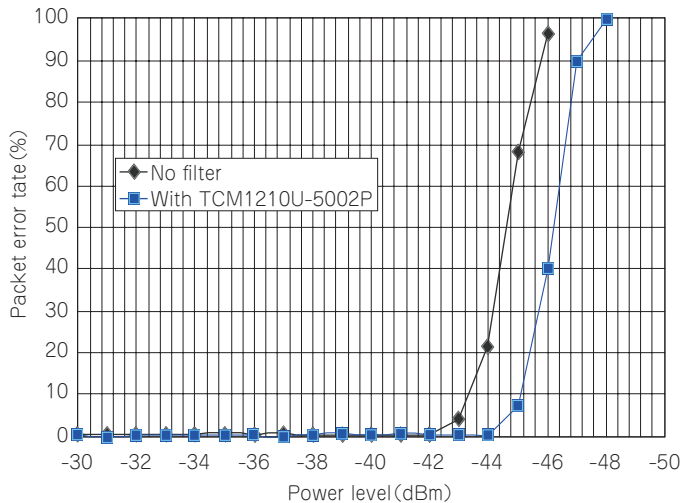
このようにノイズ対策と言えばFCC、CISPRのようなノイズ規格に準拠するために行ってきたのに対して、今後は無線機器など実際の機器動作に影響を与える電磁雑音に対して対策を行っていかねばならない時代となっていくことが予想されます。

図17 DisplayPortが無線機器 (WLAN) に与える影響を検証 (測定条件)



- ・ DisplayPortケーブルがNote-PC内蔵のWLANの受信感度にどれだけ影響を与えるか検証。
- ・ DisplayPortの送信側にはGraphicボードを使用。共通モードフィルタはDisplayPortコネクタの根元に取り付けられている。
- ・ 受信側にはW-QXGA対応のLCDモニターを使用した。

図18 DisplayPortが無線機器 (WLAN) に与える影響を検証 (測定結果)



- ・ No filterは、フィルタを搭載せずにショートした状態を意味する。共通モードフィルタはTCM1210Uを使用。
- ・ 縦軸のPacket error rateは送信パケット(1000 packets)に対するエラーパケット数で計算。
- ・ 横軸はWLANテストのPowerを表す。フィルタによって2dB程度の感度改善が見られる。

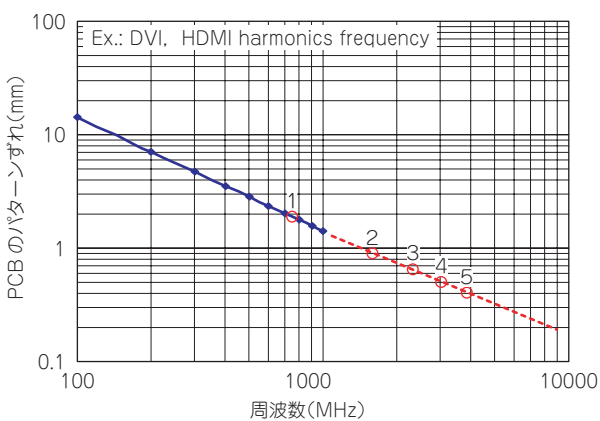
4 コモンモードフィルタはどのように差動信号のノイズを抑えるのか？

すでに紹介したように、差動伝送方式が多く使われるようになってきていますが、より詳細にコモンモードフィルタがどのように差動信号のEMIを低減させているのかについて、基礎的な実験の結果を基に紹介します。

ここでは実験を単純化するために、実際のICではなく信号発生器を用いて、正確な信号を使用し、差動信号にSKEWを与え、その差動ラインにコモンモードフィルタを挿入し、その効果を確認していきます。

ICの出力自体ですでにSKEWを持ってしまっていることもありますし、立ち上がりと立下りの特性のばらつきにより差動信号伝送においてSKEWが発生することがあります。また、ICから出た差動信号をPCBのパターンや、ケーブルで伝送するときその長さの違いから、受信端に届くまでの距離の違いなどが生じSKEWとして観測されてしまうこともあります。

図19 周波数特性例



条件：ガラスエポキシ基板上伝送ラインε4.5で計算
ε4.5ガラスエポキシ基板中の信号伝搬速度141,323km/秒

図19は、すでに述べたような一般的に使用されている差動伝送方式の周波数において、PCBのパターンがどのくらいずれるとSKEWが発生し得るのかをグラフにしたものです。各周波数で、1%のSKEWが発生するのに必要な伝送時間を簡単に計算したもので、例えばDVI/HDMIのように800MHz程度の信号になりますと、パターンの長さのずれが約2mm位で、約1%のSKEWを起こし得るという結果になります。高次の高調波成分では更に厳しいパターン設計が必要とされます。

図20は、実験に使用した装置と回路図です。信号発生器からの差動信号を基板で受けて部品を載せるパターンを用意し、100Ωの特性インピーダンスをもつ約1mのシールドケーブルを取り付けて100Ωで終端しています。ここでは、基本周波数を100MHz、振幅400mVとしてSKEWを0-3%変化させることで、その波形、EMIを観測しました。

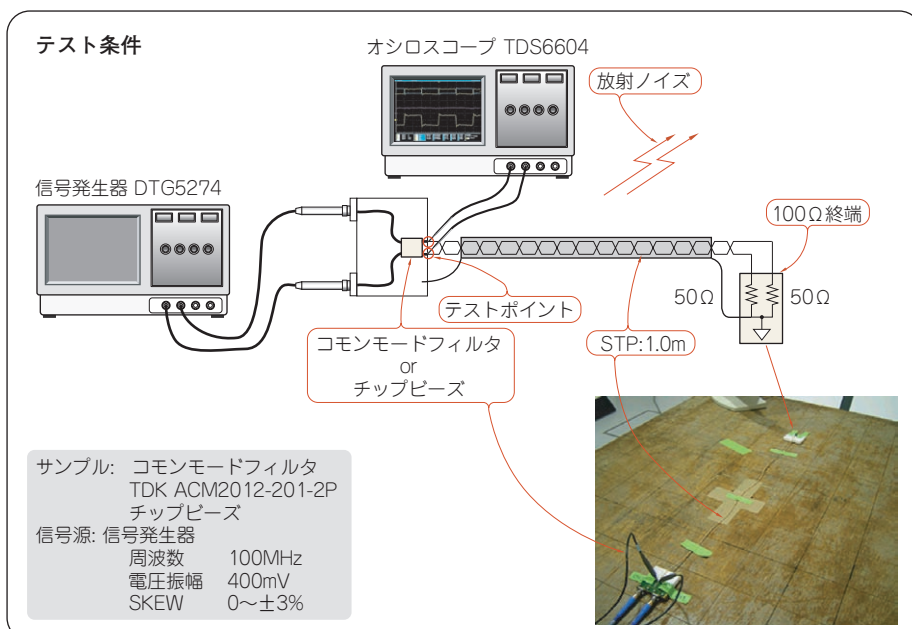
図21-1は、SKEWが0%の時の波形になります。Throughは、ノイズ部品がないときの波形です。ACM2012-201-2Pは、USB、IEEE1392などのEMI対策によく使用されているコモンモードフィルタです。比較対照として、差動信号以外のEMI対策によく使用されているチップビーズを測定してみました。

1段目の波形は、差動信号そのものをシングルエンドのプロブで測定したものです。2段目の波形は、差動信号を足し算して、コモンモード電圧を測定したものです。ここに電圧が発生すると、それがEMIとして放射ノイズを発生させることとなります。

3段目の波形は、差動信号の差を求めたもので、この波形が受信端のICの入力として伝送されます。注目するのは2段目のコモンモード電圧です。

図21-2は、信号発生器からの差動信号に1%のSKEWを与えたときのものです。少しですが、コモンモード電圧が観測されています。ただし、EMI部品なし>チップビーズ>コモンモードフィルタの順に電圧の発生が少なくなっており、ACM2012のコモンモードフィ

図20 実験用装置と回路図



ルタを挿入したときにはほとんど観測されていないことがわかります。これが、コモンモードフィルタのSKEWの補正効果といえます。

図21-3、図21-4は、信号発生器からのSKEWを2%、3%を大きくしていったときの波形になります。コモンモード電圧の発生が、EMI部品なしとチップビーズでは、徐々に上がっていきませんが、コ

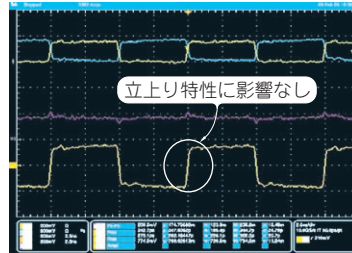
モンモードフィルタを挿入していると、SKEWが補正されてほとんど発生していないことがわかります。またチップビーズでは、差動信号、受信端での信号の電圧振幅に若干の影響を与え、波高値が小さくなっていることが観測されます。

図21-1 Skewをかけたときの波形データ

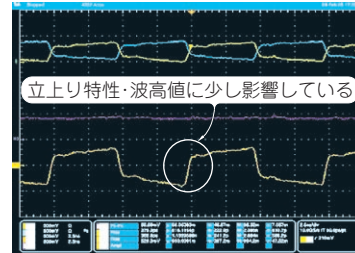
SKEW : 0%



EMI部品なし



コモンモードフィルタ挿入



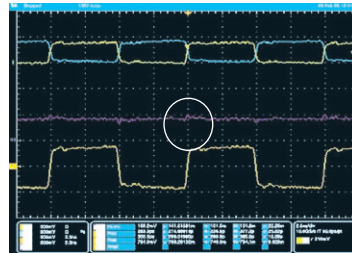
チップビーズ挿入

図21-2

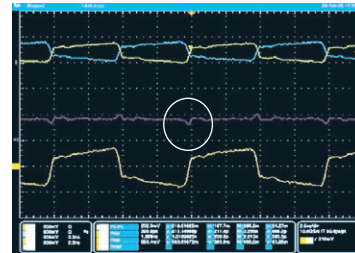
SKEW : 1.0%



EMI部品なし



コモンモードフィルタ挿入



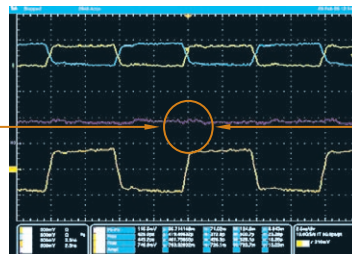
チップビーズ挿入

図21-3

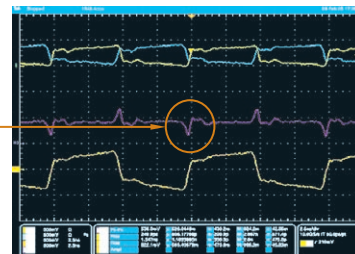
SKEW : 2.0%



EMI部品なし



コモンモードフィルタ挿入



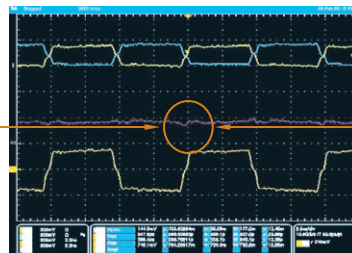
チップビーズ挿入

図21-4

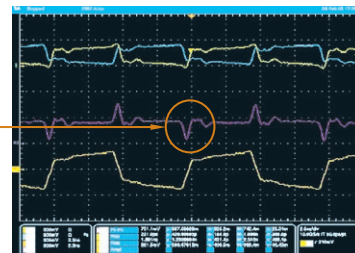
SKEW : 3.0%



EMI部品なし



コモンモードフィルタ挿入



チップビーズ挿入

図22は、このコモンモード電圧の変化をグラフにプロットしたものです。コモンモードフィルタの場合、SKEWが大きくなってもほとんどコモンモード電圧の発生がないことがわかります。

図22 SKEWによるコモンモード電圧の発生

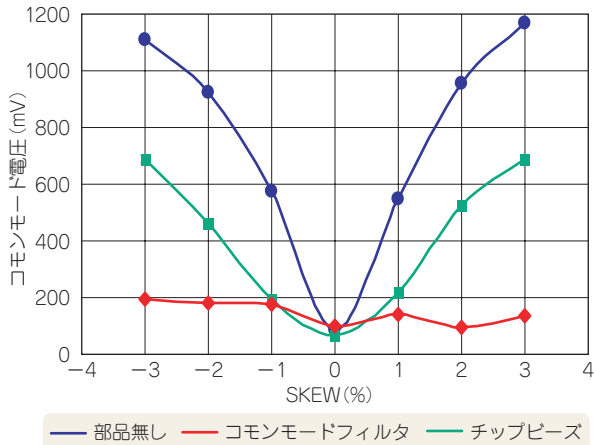


図23は、3m法の電波暗室内でEMIの放射特性を測定したデータですが、コモンモードフィルタの方が、圧倒的にEMI抑制効果があることを示しています。

図24は、EMI放射特性を、基本波を含めて奇数次の高調波についてグラフにプロットしたものです。

チップビーズの場合基本波の振幅に多少影響をおよぼしているため、0%の時にコモンモードフィルタよりEMIの発生が少し抑えられています。コモンモードフィルタは、波形を乱すことなく忠実に伝送しているため、EMI部品なしのときより下がっていますが、チップビーズの時より少し大きめの放射特性を示しています。3次～9次までの放射特性では、コモンモードフィルタがSKEWの大きさに係らず、高周波まで良好にEMI放射を抑制していることがわかります。

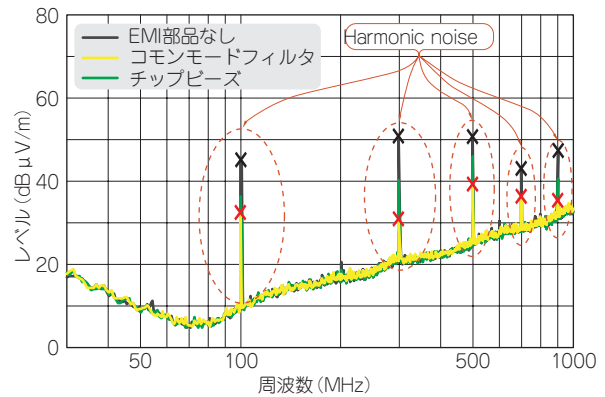
このようにコモンモードフィルタは、原理的にSKEWの補正効果を示しながら、本質的なところでEMIの対策を行っていることがわかります。

実際のICなどでも、このような効果は期待できるものであり、より高速になっていく差動信号のEMI対策に、コモンモードフィルタは、欠かせない大切な部品として注目されているのです。

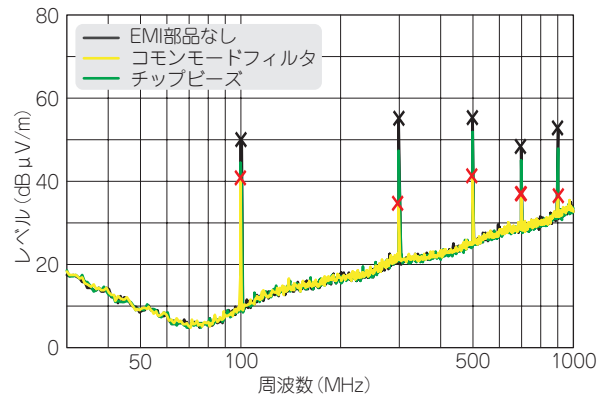
図25、図26に代表的なコモンモードフィルタの例を示します。

図23 EMI放射の抑制効果

SKEW : 1.0%



SKEW : 2.0%



SKEW : 3.0%

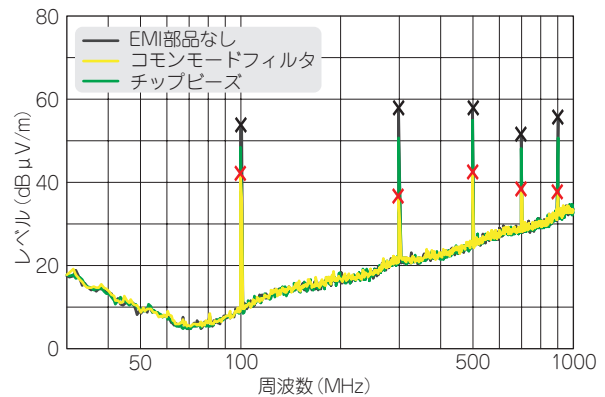


図24 高調波スペクトラムのEMI放射抑制効果

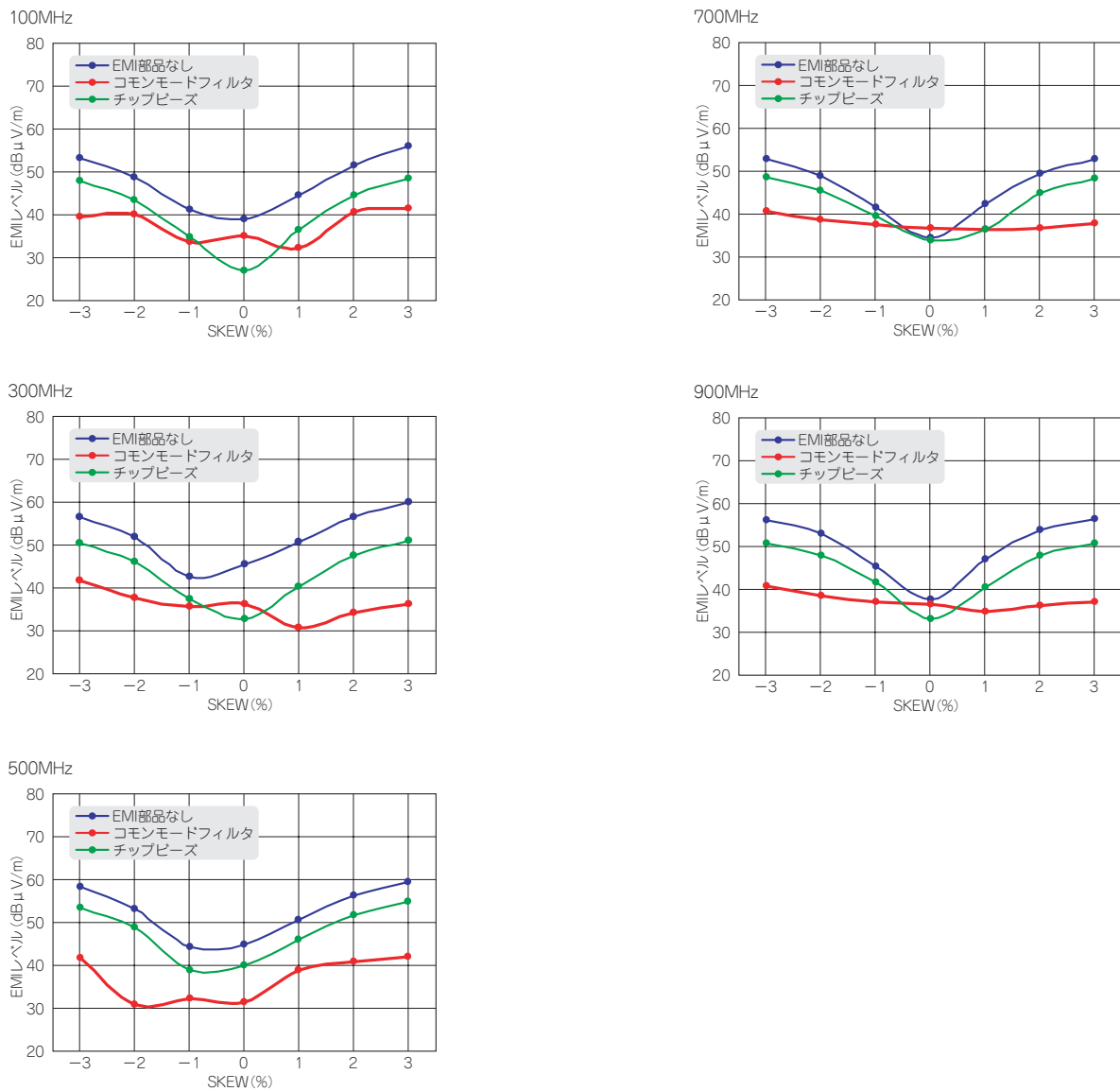
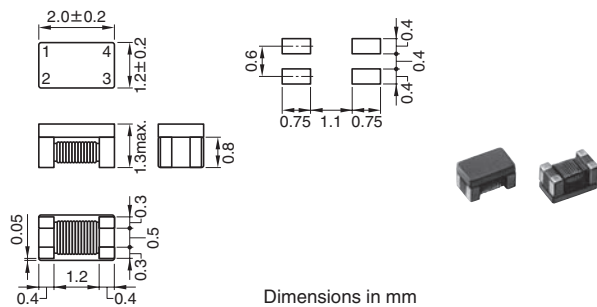


図25 コモンモードフィルタの例 (1)

ACM2012タイプ

形状・寸法と推奨ランドパターン



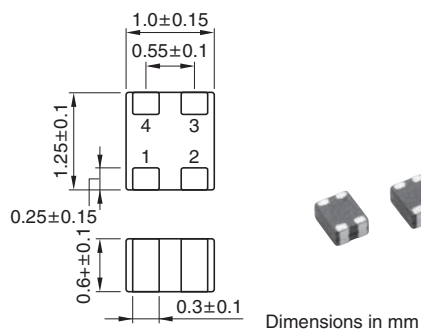
電気的特性

品名	インピーダンス (Ω) typical [100MHz]	直流抵抗 (Ω) max. [1ラインあたり]	定格電流 Idc (A) max.	定格電圧 Edc (V) max.	絶縁抵抗 (MΩ) min.
ACM2012-900-2P	90	0.19	0.4	50	10
ACM2012-121-2P	120	0.22	0.37	50	10
ACM2012-201-2P	200	0.25	0.35	50	10
ACM2012-361-2P	360	0.5	0.22	50	10
ACM2012-102-2P	1000	1.1	0.1	50	10

図26 コモンモードフィルタの例 (2)

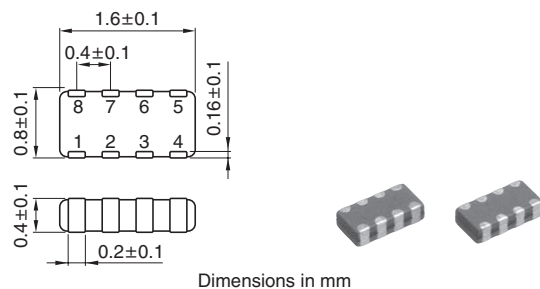
TCM1210タイプ

形状・寸法



TCM1608タイプ

形状・寸法



電気的特性

品名	インピーダンス (Ω) typical [100MHz]	直流抵抗 (Ω) max.	定格電流 Idc (A) max.	定格電圧 Edc (V) max.	絶縁抵抗 (M Ω) min.
TCM1210-650-2P	65	1.5	0.1	10	10
TCM1210-900-2P	90	1.75	0.1	10	10
TCM1210-201-2P	200	2.7	0.1	10	10
TCM1210-301-2P	300	3.5	0.05	10	10
TCM1608-350-4P	35	0.85	0.1	10	10
TCM1608-650-4P	65	1.3	0.1	10	10
TCM1608-900-4P	90	1.5	0.1	10	10
TCM1608-201-4P	200	3.0	0.05	10	10

・動作温度範囲：-25 ~ +85℃