

## USB 認証模擬試験環境の整備

本多春樹\*

### Study of USB Pre-compliance Test

HONDA Haruki\*

抄録

電子機器の高速化、大容量化に伴い差動伝送による高速シリアル信号の重要性は増しており、その品質評価は重要な技術課題である。本研究では、USBIFが定めるコンプライアンス試験のなかの信号品質評価を本センターの広帯域オシロスコープを用いて行った。

オシロスコープの帯域の影響、計測ジグの影響について検証を行った結果、コンプライアンステストの前段階の評価として利用できることが確認できた。

キーワード：USB,USB-IFコンプライアンステスト

#### 1 はじめに

電子機器の高速化、大容量化に伴い、差動によるシリアル信号の重要性は増している。身近な例でいえば、USBやIEEE1394、S-ATAなどが挙げられる。

本センターに寄せられる技術相談においてもこの分野に関する相談が増加の傾向にある。USBの評価方法（コンプライアンステスト）に関しては、USBIF（USB Implementers Forum）により公開されている<sup>1)</sup>ものの、一から理解し実行していくにはある程度の困難さと時間を要する。

本研究では、USBのコンプライアンステストのなかでも重要な位置を占める信号品質評価試験について、その評価手順の確立を行った。

評価試験に要求されるオシロスコープの帯域は最小で1.5GHzであるが、このことがTDS7104（1.0GHz帯域）を用いた計測にどの程度影響してくるのか、およびフィルタを用いることによって、どの程度補正が可能かについて検証を行った。また、計測ジグについての考察も行った。

#### 2 実験方法

図に実験方法の概略を示す。波形品質評価は以下の手順により行われる。

- ① ソフトウェアツール（USBHSET）を用いてPCからコマンドを送信する
- ② 対象デバイスはコマンドを受け取るとテスト用の信号を出しつづける。
- ③ 計測ジグにより伝送線路を切り替える。対象デバイスからの出力は90Ω（片側45Ω）終端につながる。
- ④ オシロスコープにより信号をデータとして取得する
- ⑤ 得られたデータをソフトウェアツール（USBHSET）を用いてアイパターンの算出、及びその解析を行い評価、判定を行う。

なお、信号の取り込みのタイミング、測定点数などの制御、および計測データの取り込み等は GPIB を通して PC から行った。

\* 電子情報技術部

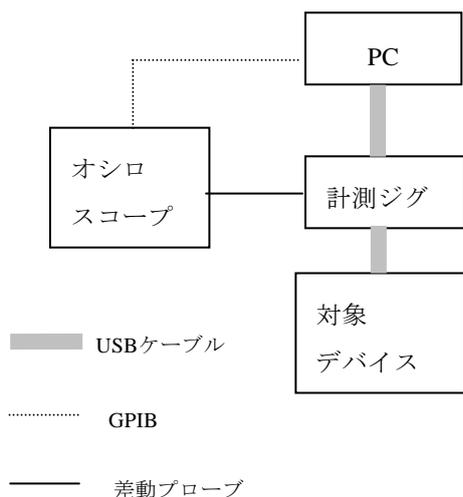


図1 実験方法の概念図

### 3 結果及び考察

1GHz オシロスコープおよび専用ジグ (型番はそれぞれ TDS7104 および TDSUSBF, とともに日本テクトロニクス社製) を用いて評価試験を行った。観測された信号 (図2) および、アイパターン (図3) を示す。

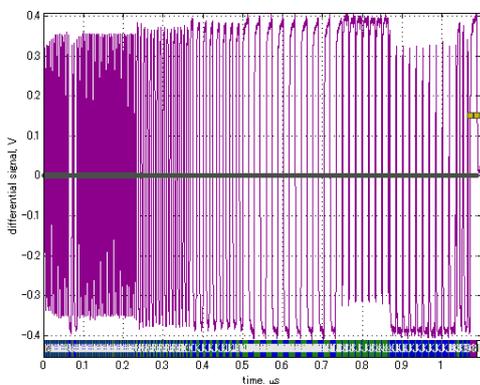


図2 観測された波形

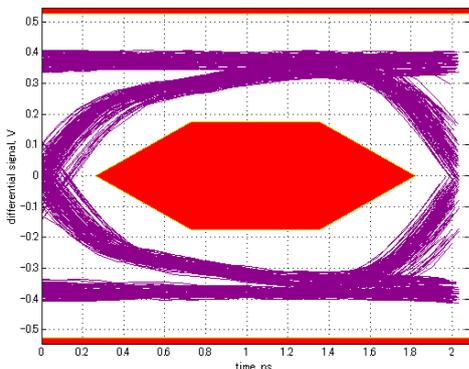


図3 図2の波形をもとにしたアイパターン

### 3.1 オシロスコープの帯域の影響

#### 3.1.1 シンボル間干渉

計測に用いたオシロスコープは 1GHz 帯域のガウシャン型の周波数特性をもっている。フィルタの半値幅と、帯域  $f$  は以下の関係式をみたす。

$$\text{半値幅} = \frac{\sqrt{2 \ln 2}}{2\pi f}$$

1GHz 帯域ならば半値幅は約 156psec である。一方、USB のビットが約 2.08nsec であることから、シンボル間干渉への影響はほとんどないと考えられる。

#### 3.1.2 立ち上がり時間

オシロスコープの帯域が立ち上がり時間に、どの程度影響するのは以下の関係式(1)により見積もることができる<sup>2)</sup>。

$$\begin{aligned} & (\text{本来の信号の立ち上り時間})^2 \\ &= (\text{計測された信号の立ち上り時間})^2 \\ & - (0.35/\text{オシロスコープの帯域})^2 \quad (1) \end{aligned}$$

### 3.2 フィルタによる補正の効果

TDS7104 の周波数特性はガウシャン特性である。計測結果の時系列データをフーリエ変換し、1GHz帯域のガウシャン特性を逆に演算することで、仕様以上の帯域を実現できるのか検討してみた。但し、単純に逆の特性をかけてしまうとS/N比が低下し過ぎてしまうので、以下のようなウィナーフィルタ<sup>4)</sup>を用いた。

$H$ はオシロスコープの周波数特性、 $N$ はノイズ

$$\frac{|H(\omega)|}{|H(\omega)|^2 + |N(\omega)|^2}$$

の周波数特性である。 $N$ についてはホワイトノイズとした。

その結果、フィルタによる処理の後のアイパターンおよび、処理前後での立ち上がり時間の比較を図4、表1に示す。これらから、S/Nの劣化はあるものの補正を行ったことにより立ち上がり時間が向上していることが確認できる。

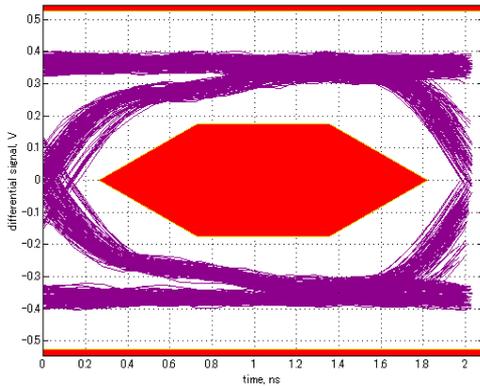


図4 フィルタ補正後のアイパターン

表1 立ち上がり, 立ち下り時間の比較 (単位はピコ秒)

	補正前	補正後	目標値
立ち上がり時間	762.47	707.98	716.45
立ち下り時間	753.90	696.23	707.32

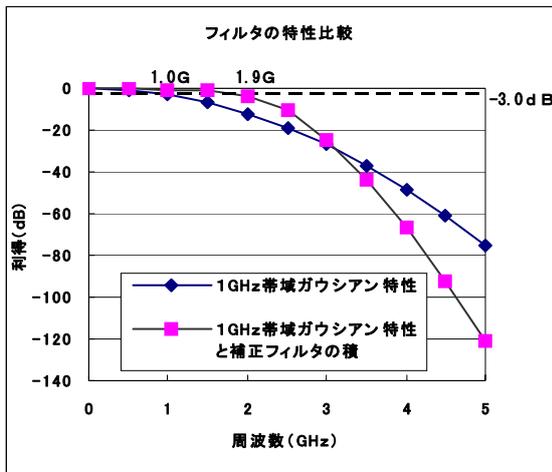


図5 オシロスコープの周波数特性の比較 (フィルタによる補正前と補正後)

図4の目標値は 1.5GHz 帯域で計測したときの立ち上がり時間を式(1)をもとに逆算したものである。

コンプライアンステストでは 1.5GHz の帯域を計測器側での必要条件としているので、この条件をクリアしたといえる。

オシロスコープの特性とフィルタによる補正後の周波数特性を図5に示す。フラットな周波数領域が増えて、帯域は約 1.9GHz まで増えたことが確認できる。

### 3.3 ジグの影響

USB コンプライアンスで公開されている仕様に基づきジグを自作した場合、どの程度まで計測が可能かについて検討を行った。

仕様によると、信号を 45Ω (差動 90Ω) で終端して計測するようになっている。

そこで、リード線付きの抵抗で終端して計測をおこなったところ、純正のジグを用いたときのアイパターン (図3) とは異なり、波形の歪が認められる (図6)

歪みの原因について検討したところ、抵抗中の寄生インダクタンスによるインピーダンスの不整合によるものと考えられるので、リード線付きの抵抗をチップ抵抗におきかえ、配線をできる限り短くして評価試験を行った (図7)。

その結果、図3と同様な傾向のアイパターンを得ることができた。

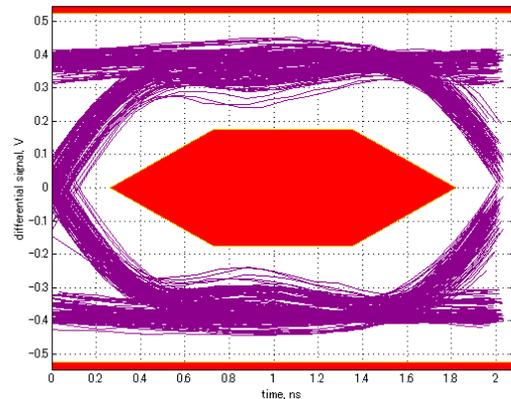


図6 リード線付きの抵抗を用いたジグによるアイパターン

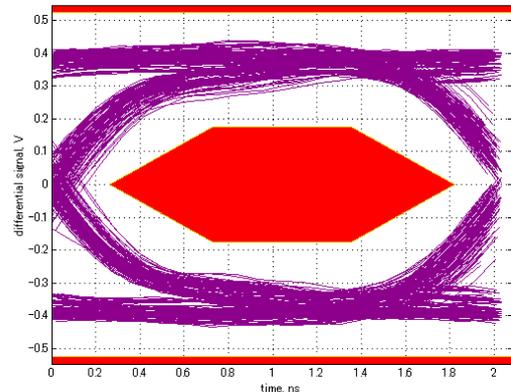


図7 チップ抵抗を用いたジグによるアイパターン

## 4 まとめ

USB コンプライアンステストを行う計測環境の整備を行った。オシロスコープの帯域が与える影響について検証をおこなった。また、ジグが計測に与える影響について検証を行ったことにより、立ち上がりの速い信号を計測するうえでの知見を得ることが出来た。

### (1) オシロスコープの帯域の影響

シンボル間干渉、立ち上がり時間への影響について考察を行った。シンボル間干渉については、帯域とビットレートを考慮すると、影響がほとんどないことがわかった。

フィルタ処理による帯域補正を行った結果、S/N の劣化はあるものの、帯域を拡大できることが確かめられた。

### (2) ジグによる影響

リード線つきの抵抗を終端抵抗としたジグを作製したところ、純正のジグに比べて波形の歪が認められた。配線やカーボン抵抗自身インダクタンス成分によるものと考え、チップ抵抗にてジグを作製したところ、歪および立ち上がり時間の問題は改善された。

以上のような検証を行った結果、帯域がコンプライアンステストの要求を満たしてはいないものの、評価試験の前段階の評価としては利用できるようになった。

得られた知見は USB コンプライアンステストだけでなく、電気信号の計測において活用することが可能である。

今後は、機器開放、技術相談等を通して本研究成果の活用をすすめていく。

## 参考文献

- 1) Universal Serial Bus specification Revision 2.0, <http://www.usb.org/>
- 2) 日本テクトロニクス：アプリケーションノート，周波数帯域のみの比較では判断できない測定精度，
- 3) インターフェース編集部：USBハード&ソフト開発のすべて，CQ出版，(2005)232

- 4) 南茂夫，河田聡：科学計測のためのデータ処理入門，CQ出版，(2005)232