

## USB2.0 / Ethernet インタフェースの評価方法



テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2012

脇本 雄太

[www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja)

# Agenda

- はじめに
- 規格概要
- コンプライアンス
- 物理層の評価
- 評価に最適な測定器

はじめに

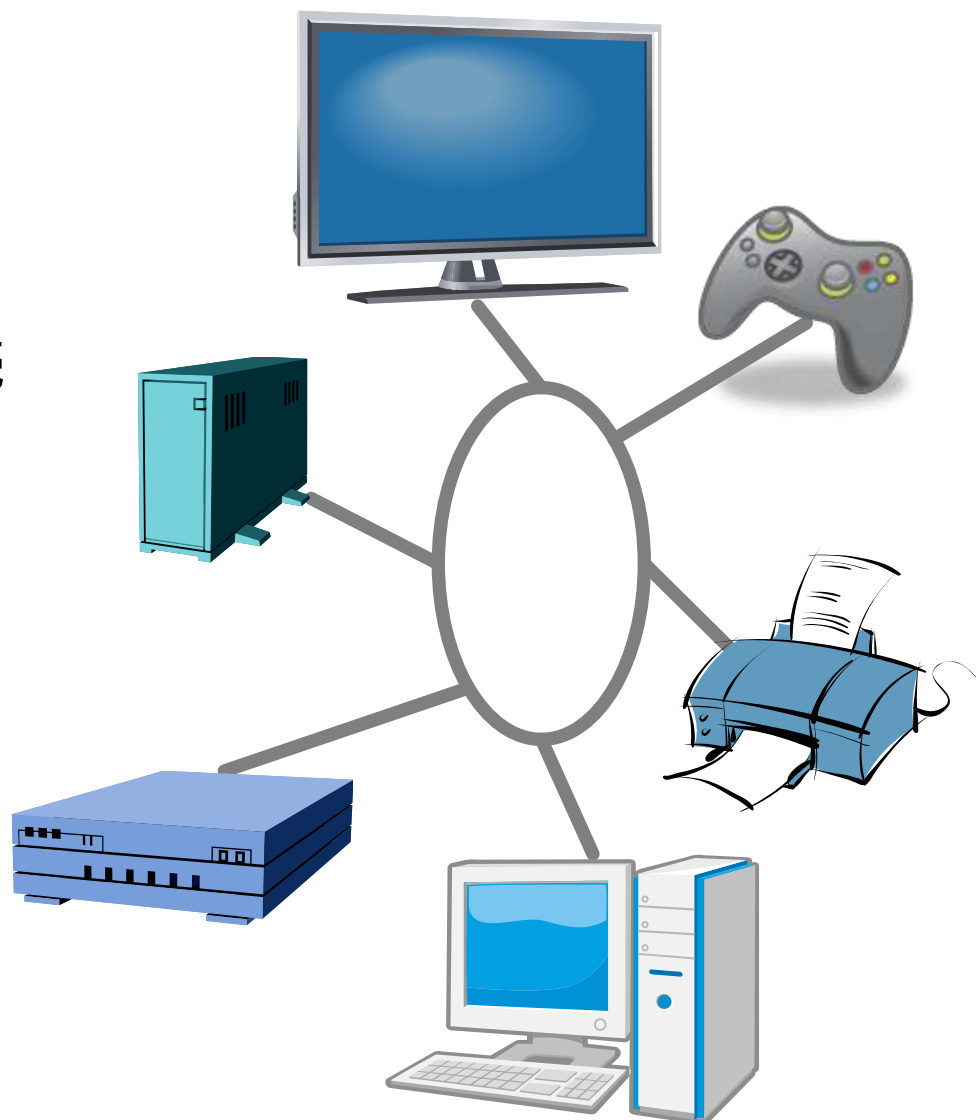
# 今日のデジタル・コンシューマ市場の動向

- インターネットの普及
  - ADSLからFTTHへ
- PCの普及
  - 各家庭でインターネットに接続が可能に
- 地上デジタル放送開始
  - 高画質映像データ
- タブレット端末、スマートフォンの普及
  - いつでも、どこでも



# 市場の要求

- 家庭内ネットワークの構築
  - データの共有
- 容易な接続
  - 面倒な設定なしで簡単接続
- 双方向通信サービス
  - Video on Demand
- 高速データ通信
  - 大容量データの取り扱い



# デジタル・コンシューマ市場で使用されている 主なデジタル・インタフェース

- USB
  - 元々はPCのインタフェース
  - 周辺機器との接続
- LAN
  - Ethernet
  - 接続が容易で安価なツイストペア線を使用した規格が普及
- HDMI
  - 映像、音声信号の伝送
  - 最新の規格ではEthernet接続も可能
- IEEE1394 (FireWire、i.LINK)
  - デジタル・ビデオのインタフェースとして普及

# 規格概要

# USBの歴史

- 1995年 : Intelによって仕様公開
- 1996年1月 : USB1.0規格を発表
  - Compaq Computer、Digital、IBM、Intel、Microsoft、NEC
- 1998年9月 : 電氣的仕様をより詳細に規格化しUSB1.1へ
- 2000年4月 : USB2.0規格を発表
  - Hewlett-Packard、Lucent Technologies、Philipsが新たに参加
- 2001年12月 : On-The-Go Supplement Revision1.0を発表
- 2008年11月 : USB3.0仕様公開
  
- PCと周辺機器を接続する標準的なインタフェースの1つ
- 現在ではほとんどのPCに標準で装備
- PC用途に限らずデジタル・コンシューマ分野にも広がる

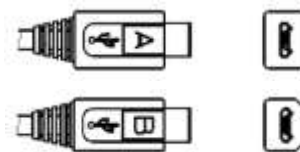
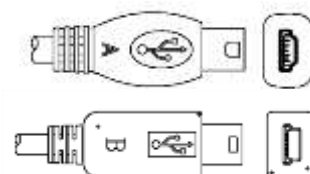
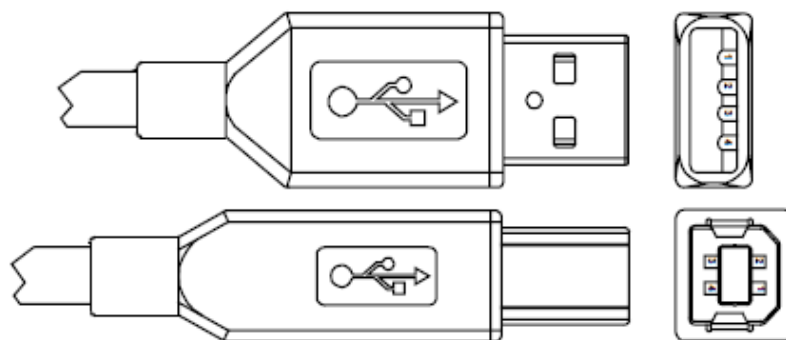


# USB2.0

- Universal Serial Bus Revision 2.0
  - Universal Serial Bus Revision 2.0 Specification
    - <http://www.usb.org/developers/docs/>
- 3つの転送レートをサポート
  - Low Speed (LS) : 1.5Mbps (USB1.1規格)
  - Full Speed (FS) : 12Mbps (USB1.1規格)
  - High Speed (HS) : 480Mbps (USB2.0規格)
- 後方互換性
  - Revisionの違う機器との接続を保証
    - High Speed機器はFull Speedでも動作

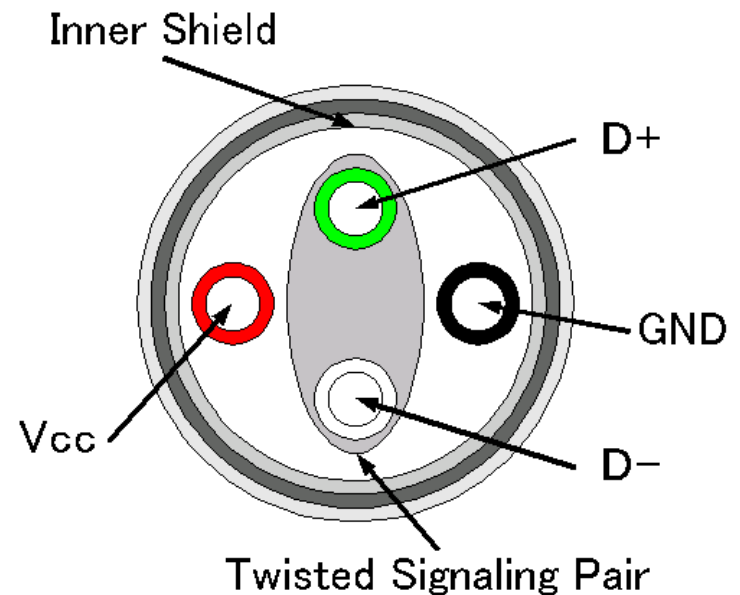
# USBコネクタ

- Standard Connector
  - 標準的なコネクタ
- Mini Connector
  - 小型コネクタ
  - 薄型機器、携帯端末
- Micro Connector
  - ミニ・コネクタよりさらに薄く
  - 小型携帯端末



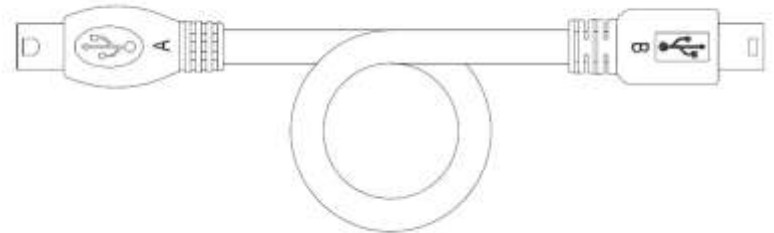
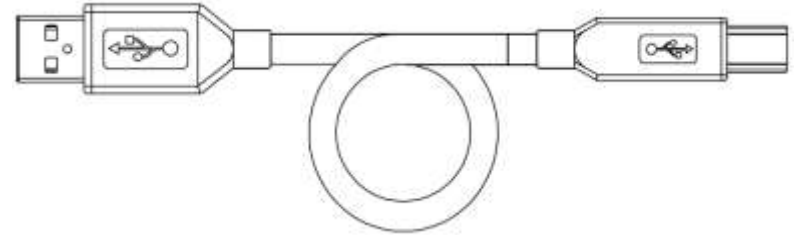
# USB2.0標準ケーブル

- USB1.1ケーブルと同等
- 信号線 28AWG、ツイスト・ペア
- 電源線 20-28AWG
- シールド線
- 最長5m (26ns)
- LSケーブルにシールドを推奨



# USBケーブルの種類

- 基本はA to B
  - Standard A Plug – Standard B Plug
  - Standard A Plug – Mini B Plug
    - Max Length : 26ns
- Mini A Plug
  - Mini A Plug – Mini B Plug
  - Mini A Plug – Standard B Plug
    - Max Length : 25ns or 4.5m
- Micro Connector
  - Micro A Plug – Micro B Plug
  - Standard A Plug – Micro B Plug
    - Max Length : 10ns or 2m
- 変換コネクタ
  - Standard A Receptacle – Mini A Plug
  - Mini A Receptacle – Standard A Plug
  - Standard A Receptacle – Micro A Plug
    - Max Length : 1ns or 15cm



# Ethernetの歴史

- 1980年: LANの標準化のためIEEE802委員会設置
  - 802.3WGによりCSMA/CD方式を推進
- 1990年: 10BASE-T(IEEE802.3i)規格
  - 同軸の10BASE5と同じ10Mbps伝送速度をツイストペアで実現
- 1995年: 100BASE-TX(Fast Ethernet、IEEE802.3u)規格
  - 光ファイバLAN(FDDI, 100BASE-FX)と同じ100Mbps伝送速度を使いやすく、安価で実現
  - カテゴリ5のツイストペア使用
- 1999年: 1000BASE-T(Giga Ethernet、IEEE802.3ab)規格
  - 幹線向けLAN(ATM, HIPPI, FC)の構築、運用を容易化するためにEthernetを高速化
  - カテゴリ5のツイストペア使用
- 2006年6月: 10GBASE-T(802.3an)
  - カテゴリ7のケーブルで100m
  - カテゴリ6で55~100m
- 2010年6月: 40G/100G Ethernet規格化(802.3ba)

# Ethernet

- IEEE802.3

- <http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>

- IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements--Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications

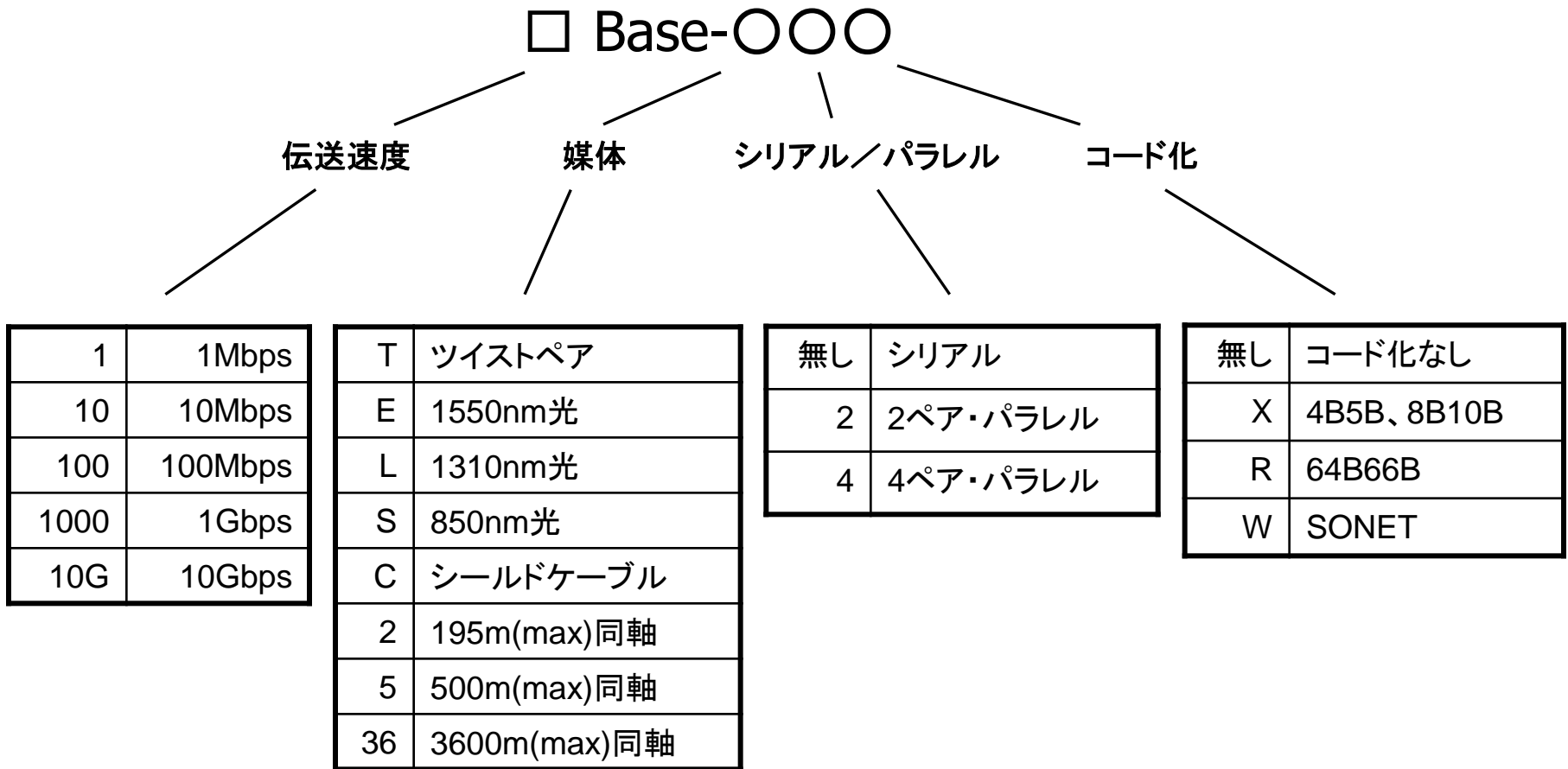
- ANSI X3.263: 199X(TP-PMD)

- <http://webstore.ansi.org/>

- 100BASE-TXは、ツイステッド・ペア金属線上で動作する、MDI(Medium Dependent Interfaces)も含めた100BASE-X PMD(Physical Medium Dependent)およびベースバンド・メディアに関する規定である。100BASE-TX PMA(Physical Medium Attachment)およびMDI(Medium Dependent Interfaces)は、カテゴリ5のむき出しのツイステッド・ペア(UTP)および被覆されたツイステッド・ペア(STP)を対象として、FDDI TP-PMDの標準であるANSI X3.263: 1995(TP-PMD)に修正を加えた形で規定されている。

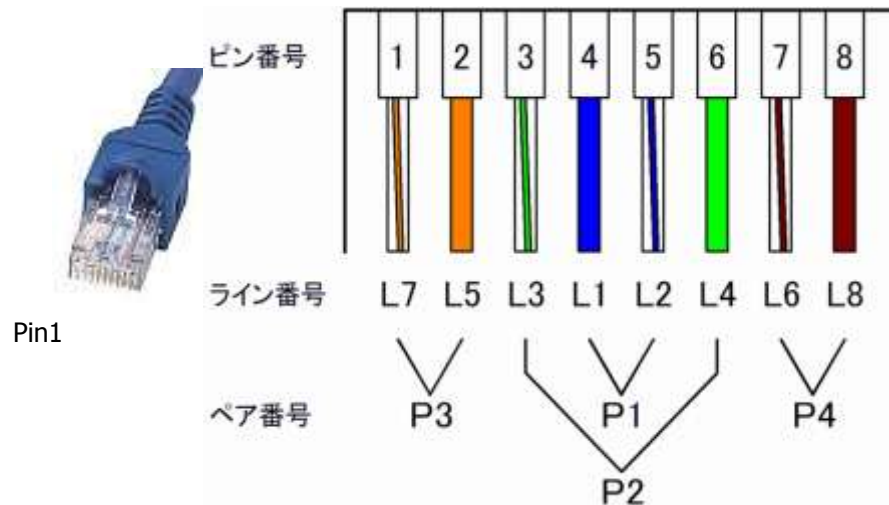
# Ethernet規格

## ■ Ethernetインターフェイスの識別

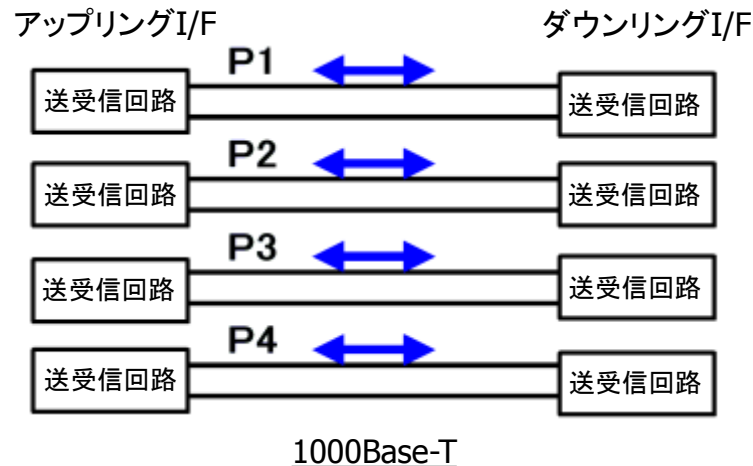
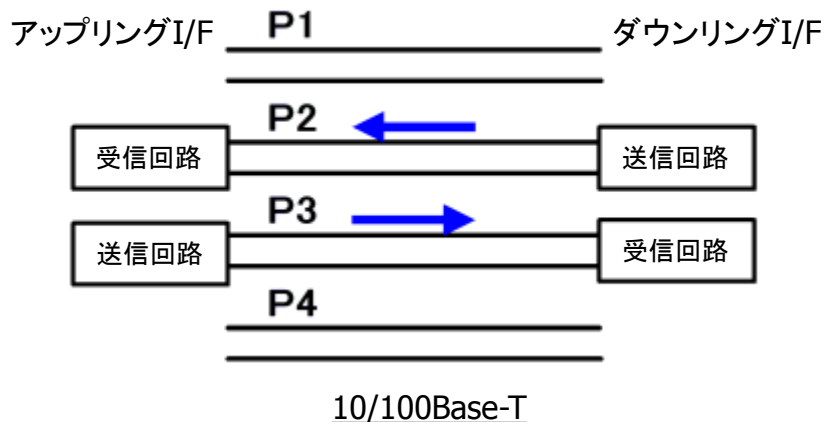


# Ethernetツイスト・ペア・ケーブル

- 4対のシールド無しツイストペア
  - コネクタはRJ-45を使用
- 使用ピン
  - 10/100BASE-TX
    - P2、P3使用
    - 送信、受信独立
  - 1000BASE-T
    - P1~P4全て使用
    - 送受信同時



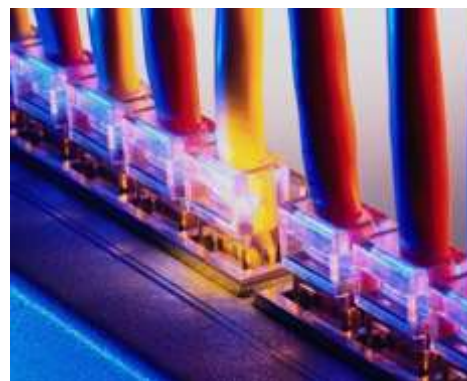
Pin1





# Ethernetケーブルのカテゴリ

	周波数帯域規定	10BASE-T	100BASE-TX	1000BASE-T
カテゴリ3	16MHz	○	×	×
カテゴリ5	100MHz	○	○	○
カテゴリ5e	100MHz (350MHzまで保証) 伝播遅延、遅延スキュー、リターン・ロスなど 項目追加	○	○	○
カテゴリ6	250MHz	○	○	○



# コンプライアンス

# USB2.0ロゴ

- 認定はUSB-IF (Implementers Forum) にて行われる
  - Compliance Test (認証試験) に合格
  - Integrators List
- 規格に準拠していることの証明
  - Certified Logo



# USBコンプライアンス・テスト

- ロゴ・ライセンス取得の為にUSB-IFが定めたテスト
  - 製品やパッケージにUSBロゴを使用する場合は必ず合格しなければならない
- ロゴ認証を取得するには
  - セルフテスト不可
  - Test Lab
    - アリオン株式会社 <http://www.allion.co.jp>
    - 株式会社エクスカル <http://www.xxcal.co.jp/>

# USBコンプライアンス・テストの内容

- Electrical Test
  - Droop / Drop Test
  - Downstream / Upstream Signal Quality Test
  - Inrush Current Test
- Device Framework Test
- Interoperability Test
- Back-voltage Test
- High Speed Electrical Test
  - High Speed Signal Quality Test
  - Packet Parameters Test
  - CHIRP Timing Test
  - Suspend / Resume / Reset Timing Test
  - Test J/k, SE0\_NAK Test
  - Device Receiver Sensitivity Test
  - Hub Repeater Test

# Ethernetコンプライアンス・テスト

- セルフ・コンプライアンス
  - USBのようなロゴ発行は無い
- UNH-IOLによるテスト・サービス
  - University of New Hampshire – Inter Operability Laboratory
  - 各種インタフェースの相互接続性テストのサービス提供

[10BASE-T Ethernet](#)  
[10 Gigabit Ethernet](#)  
[AVnu Testing Service](#)  
[Bridge Functions](#)  
[Data Center Bridging](#)  
[DSL](#)  
[Fibre Channel](#)  
[Gigabit Ethernet](#)  
[iSCSI](#)  
[NVMe](#)  
[Power over Ethernet](#)  
[SAS](#)  
[TR-069](#)  
[Wireless LAN](#)

[IEEE 1588](#)  
[40/100 Gigabit Ethernet](#)  
[Backplane Ethernet](#)  
[Cable Testing](#)  
[Digital Home Networking](#)  
[Fast Ethernet](#)  
[GPON](#)  
[IPv6](#)  
[MIPI](#)  
[OpenFabrics](#)  
[Routing](#)  
[SATA](#)  
[VoIP](#)

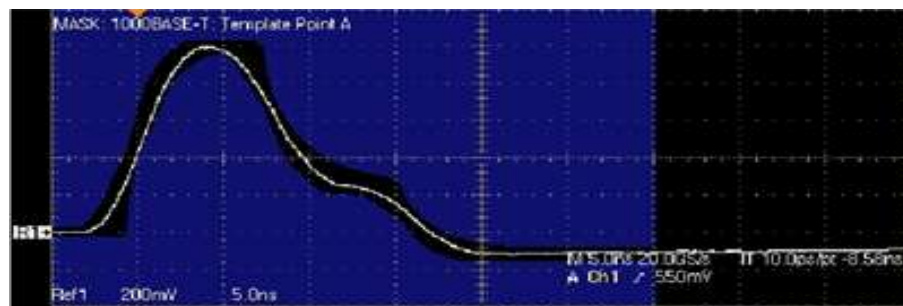
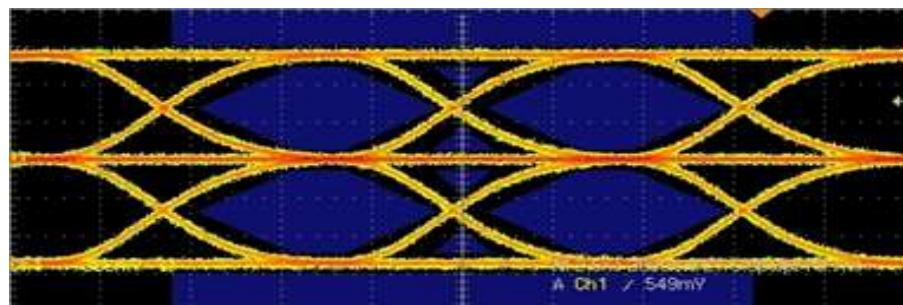
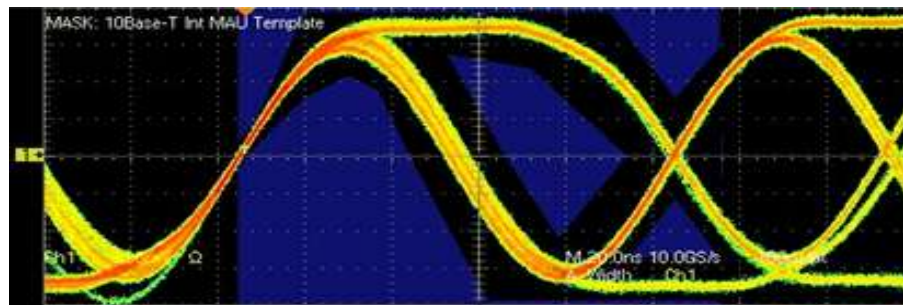
The screenshot shows the website for the InterOperability Laboratory (IOL). The header includes the IOL logo and the text 'InterOperability Laboratory'. Below the header, there is a navigation menu with items like 'Services', 'Education', 'For Members', 'Press Room', and 'About Us'. The main content area is titled 'Testing Programs' and contains a list of testing services. A sidebar on the right lists 'Testing Programs' and 'Services'. The website also features a section titled 'The Collaborative Testing Model' and a link to 'Read about the benefits of consortium membership'.

# Ethernetコンプライアンス・テストの内容（1）

- 10BASE-T
  - Template
    - MAU
    - TP\_IDL
    - Link Pulse
  - Differential Voltage
  - Harmonic
  - Jitter
    - Normal
    - 8bit
    - 8.5bit
  - Common Mode Voltage
  - Return Loss
- 100BASE-TX
  - Template
  - Output Voltage
  - Amplitude Symmetry
  - Overshoot
  - Rise/Fall Time
  - Rise/Fall Time Symmetry
  - Jitter
  - Duty Cycle Distortion
  - Return Loss

## Ethernetコンプライアンス・テストの内容（2）

- 1000BASE-T
  - Template
  - Peak Voltage
  - Droop
  - Jitter
  - Distortion
  - Common Mode Voltage
  - Return Loss





# コンプライアンス・テストの重要性

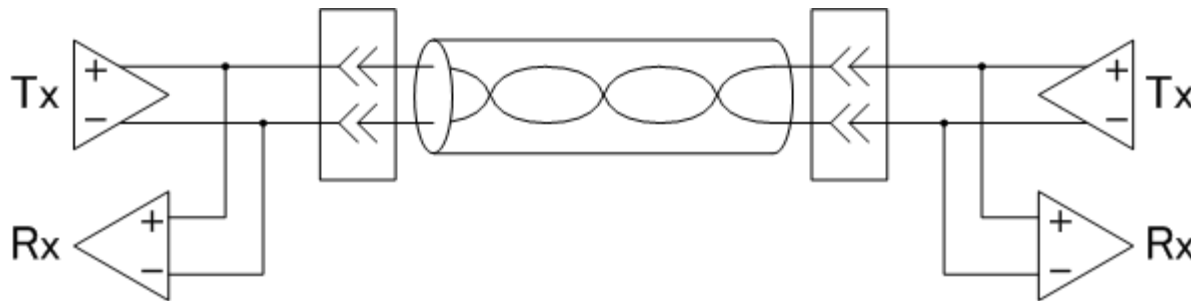
- 規格団体等で定められたテスト
  - USB-IF、UNH-IOL
  - 各規格に準拠したテスト
- 物理層の評価に有効なテスト
  - 規格を満足しているか
  - プロトコル、相互接続と合わせて物理層の評価が重要に



# 物理層の評価

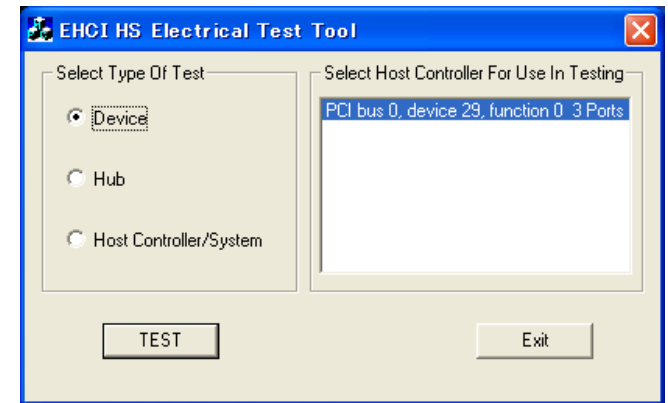
# USB2.0 (High Speed) 物理層

- 4線
  - 差動データライン2線 (D+, D-)、Vbus、GND
- 差動半二重伝送
- DC結合
- NRZI (Non Return to Zero Invert) エンコード
  - データ1の場合は信号レベルを反転、データ0の場合は継続
  - ビット・スタッフィング



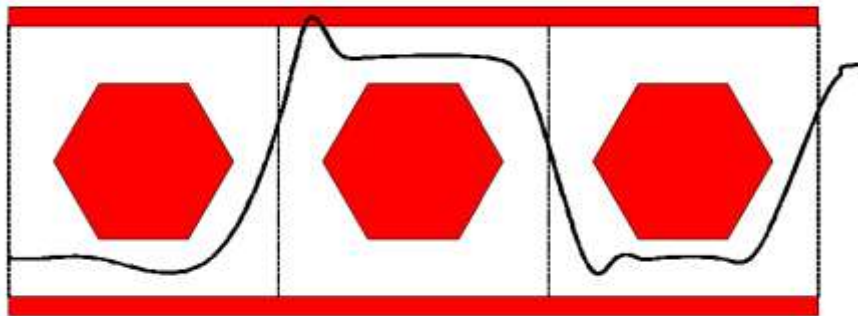
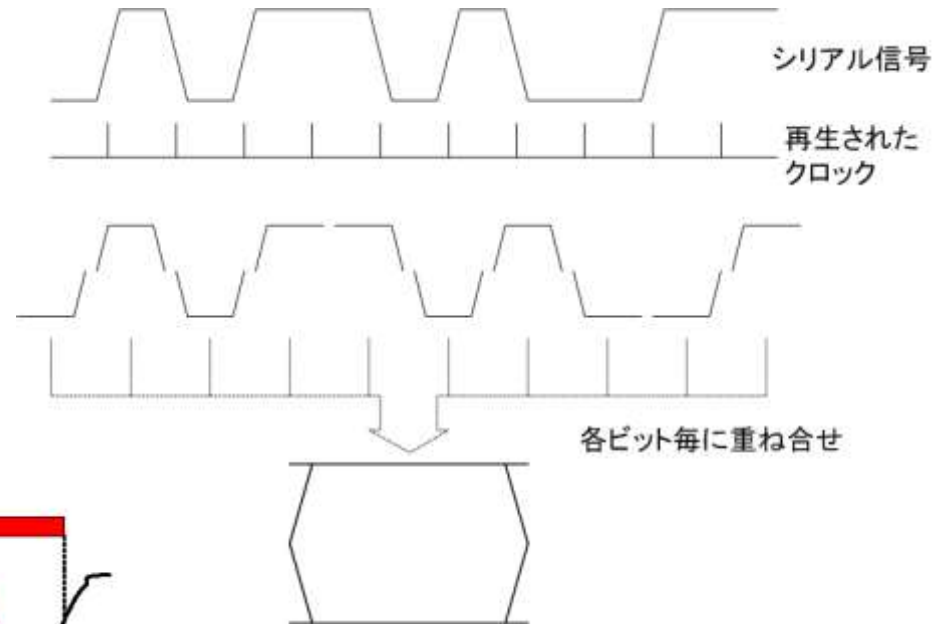
# テストモードのサポート

- USB2.0規格で定められたテストの為のモード
  - Test Packet
  - Test J , Test K , Test SE0\_NAK
  - Test Force Enable
- テストモードに設定するには
  - Device , Hub
    - USB-IFよりソフトウェアを提供
      - HS Electrical Test Tool
      - <http://www.usb.org/developers/tools/>
  - Host
    - OSがWindowsの場合
      - HS Electrical Test Toolにて可能
    - OSが非Windowsの場合
      - 各ベンダー様にてTest Modeに設定する必要有

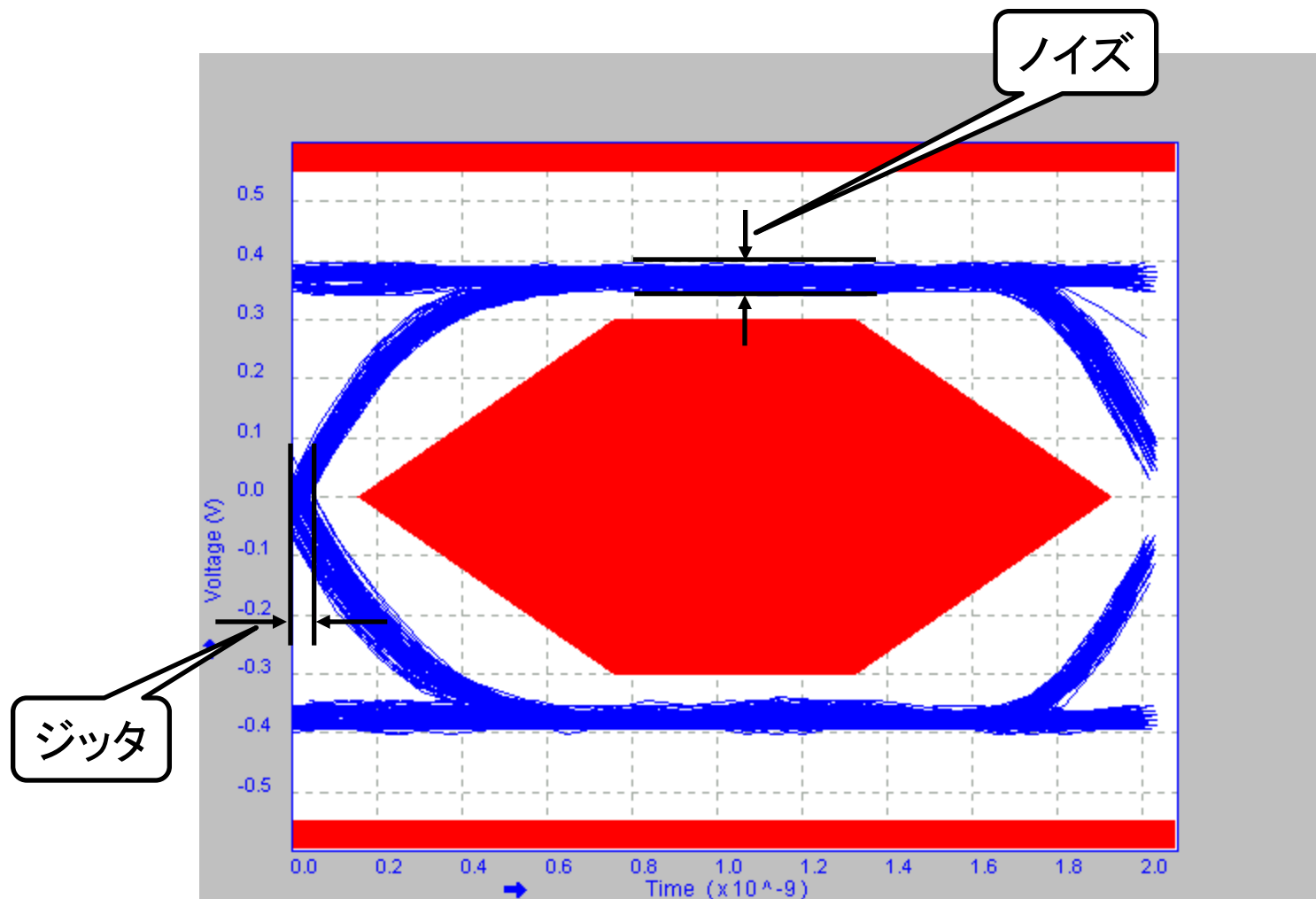


# アイ・ダイアグラム測定

- デジタル・データ通信の信号品質評価
- ノイズ、ジッタ
- テンプレートの適用

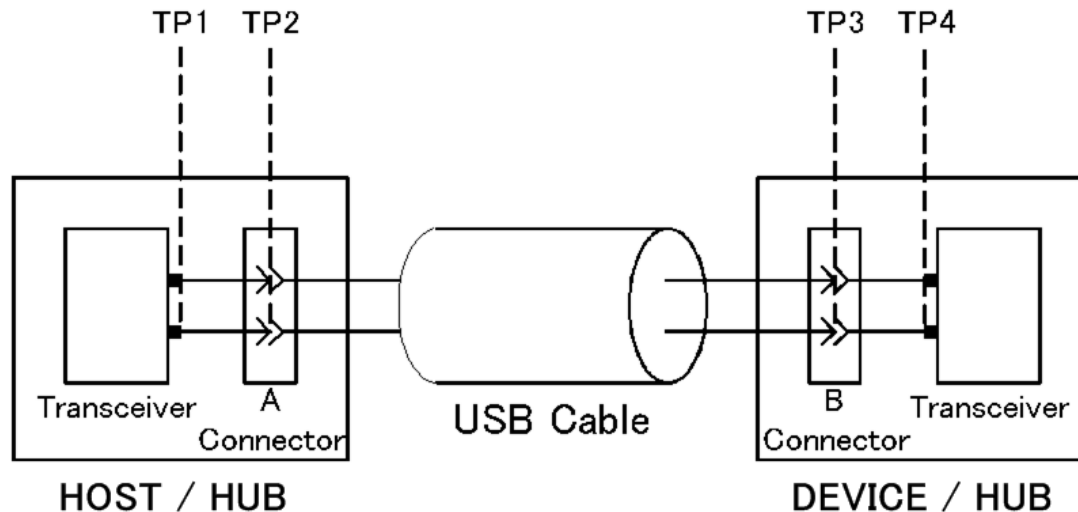


# アイ・ダイアグラム



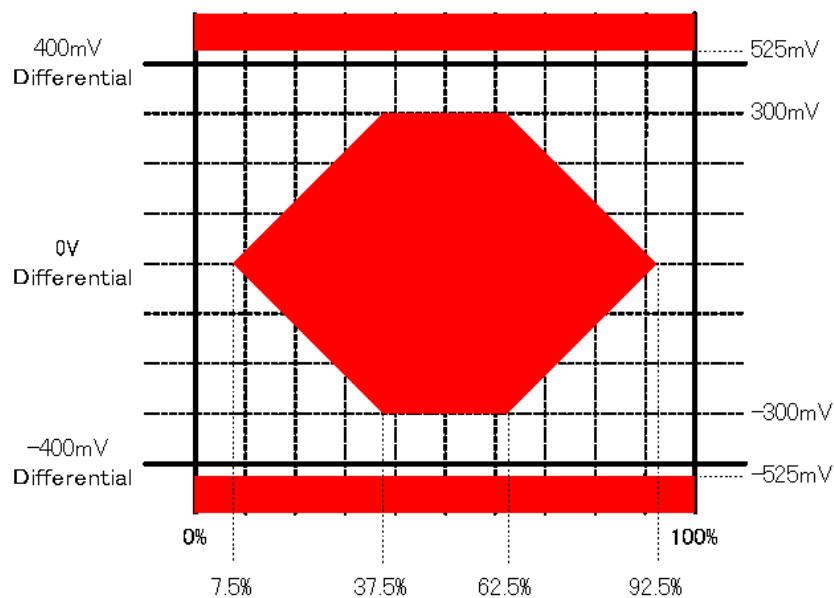
# 測定ポイント

- アイ・ダイアグラムの評価は測定ポイントが重要
  - 近端と遠端で波形が変わる
- USBコンプライアンスでは基本は近端で測定
  - HostおよびHubのDownstream Port はTP2
  - DeviceおよびHubのUpstream PortはTP3
  - ケーブル付のDeviceおよびHubのUpstream PortはTP2

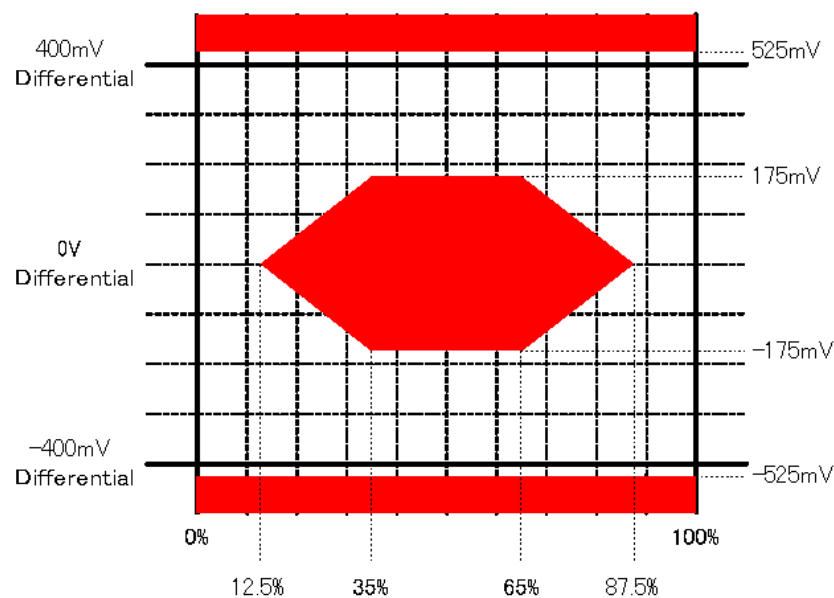


# テンプレート

## Template1



## Template2

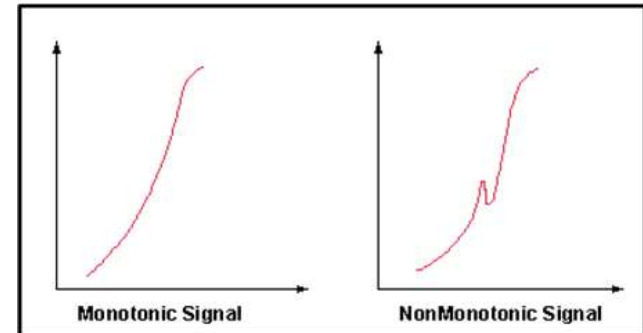




# アイ・ダイアグラム以外の信号品質評価

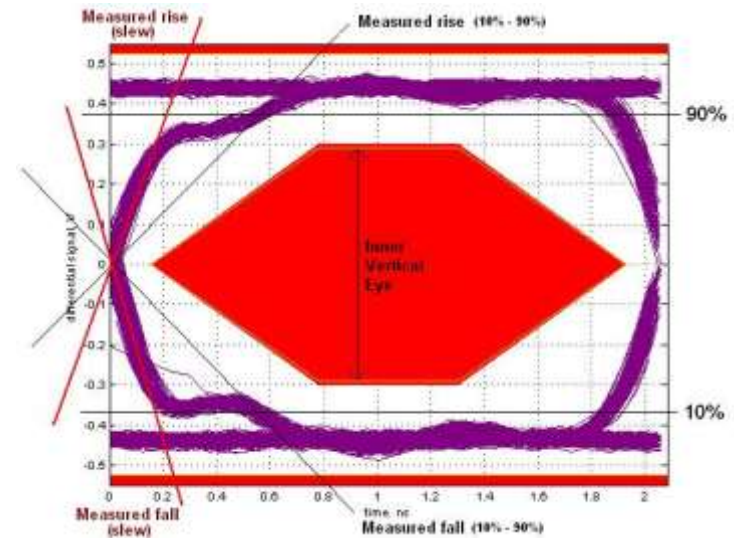
## ■ Monotonic Transition

- データが変化する時は単調的に推移すること
  - インピーダンス不整合
  - 差動間スキュー



## ■ Rise / Fall Time

- 10%-90%にて500ps以上
  - 速すぎてはいけない
  - コンプライアンス・テストではスルーレートで測定

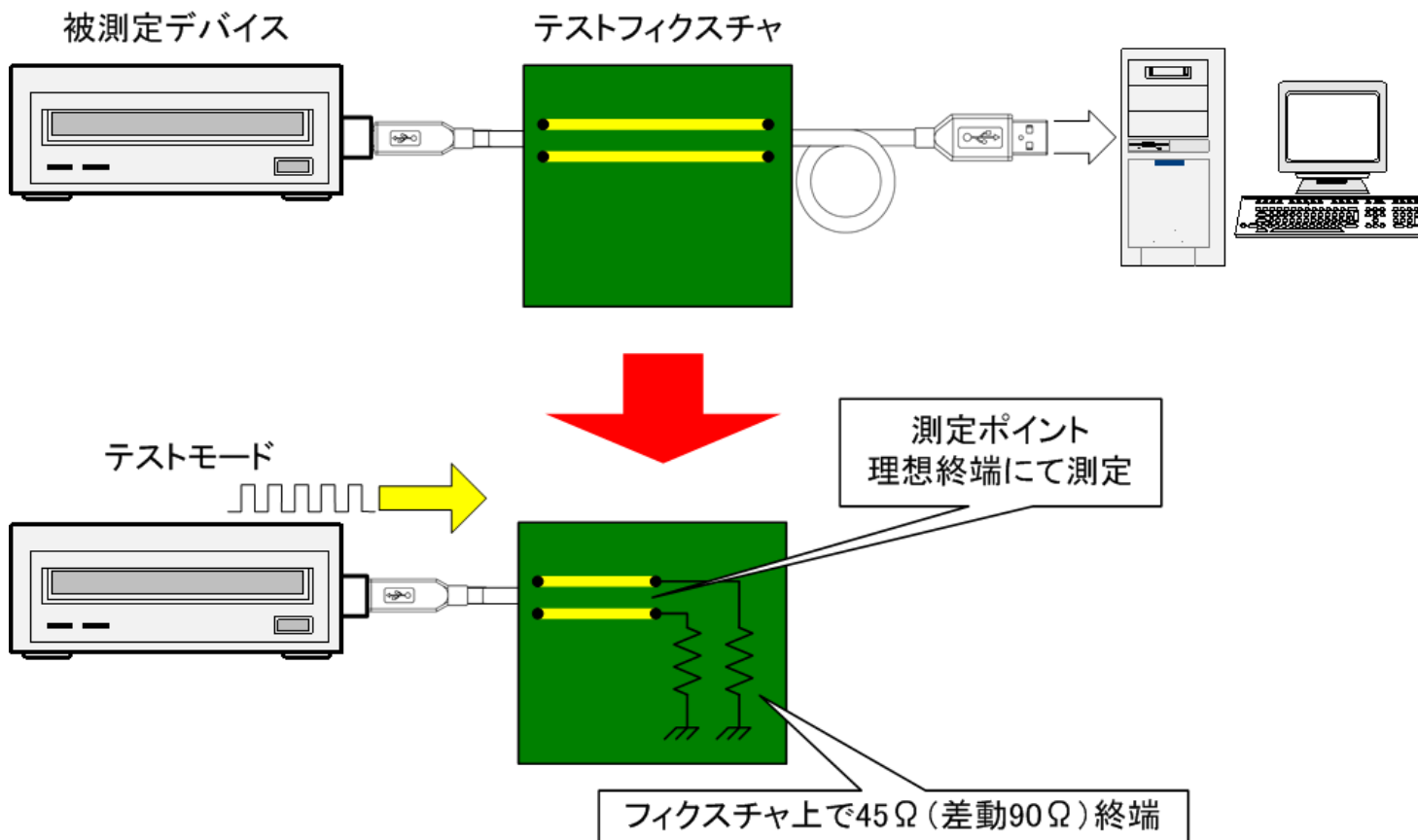


USB-IF Webページより引用

<http://compliance.usb.org/index.asp?UpdateFile=Electrical&Format=Standard#7>

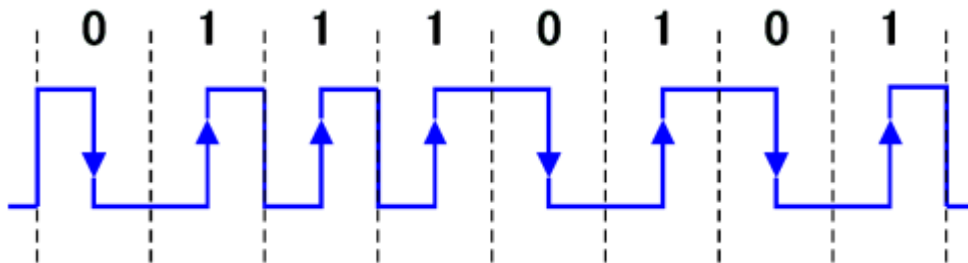
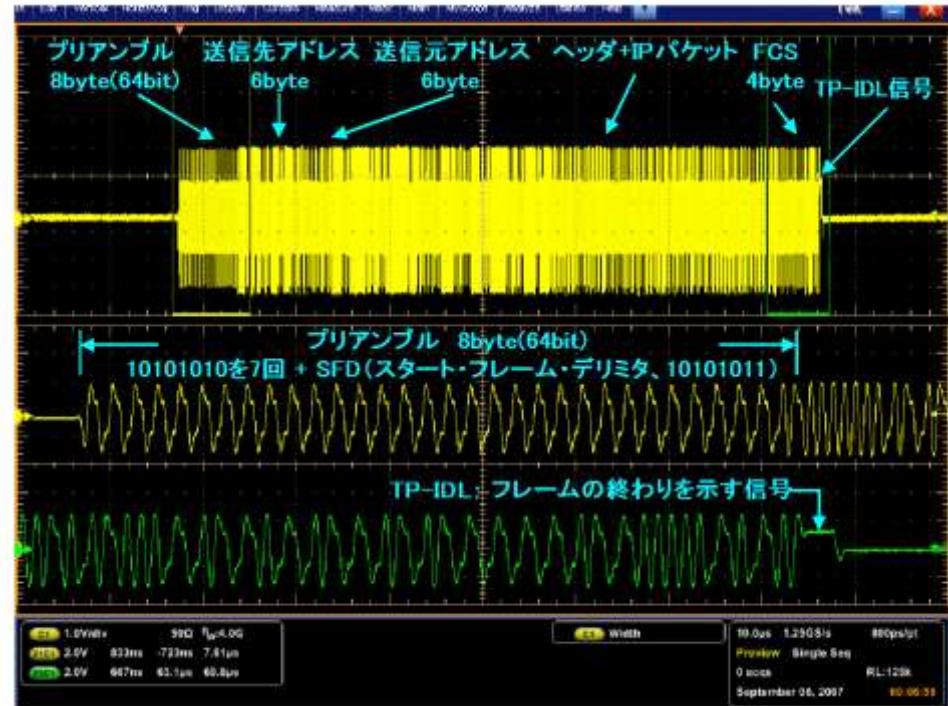
# 物理層の信号品質評価

- PCを使用して被測定デバイスをTest Packetモードに設定
- 信号観測時はフィクスチャ上で理想終端

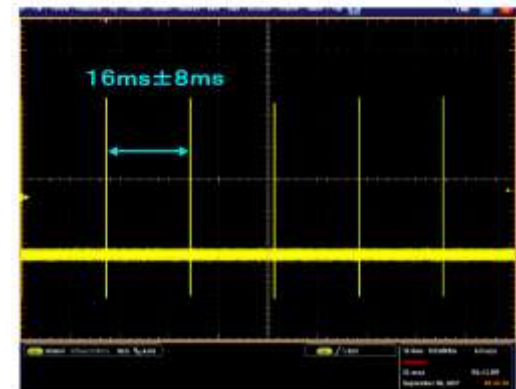


# Ethernet(10BASE-T)物理層

- マンチェスタ符号
  - デジタル・ビット毎にクロックが変化
  - 0と1ではクロック反転
- バースト信号出力
  - フレーム送出時に信号出力
  - サイズは64~1518byte
  - フレーム間は無信号
- フレーム先頭にプリアンブルを出力
- リンクパルス
  - 装置間が接続されているか確認
    - NLP(ノーマル・リンク・パルス)
  - 伝送速度の自動選択
    - FLP(ファスト・リンク・パルス)

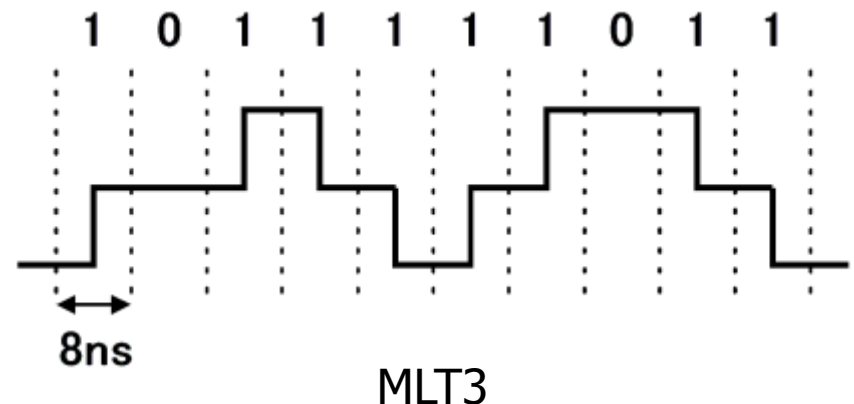


マンチェスタ符号



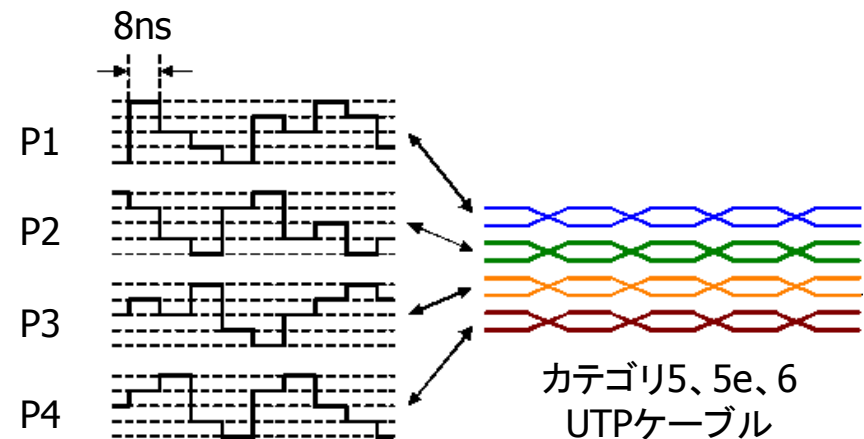
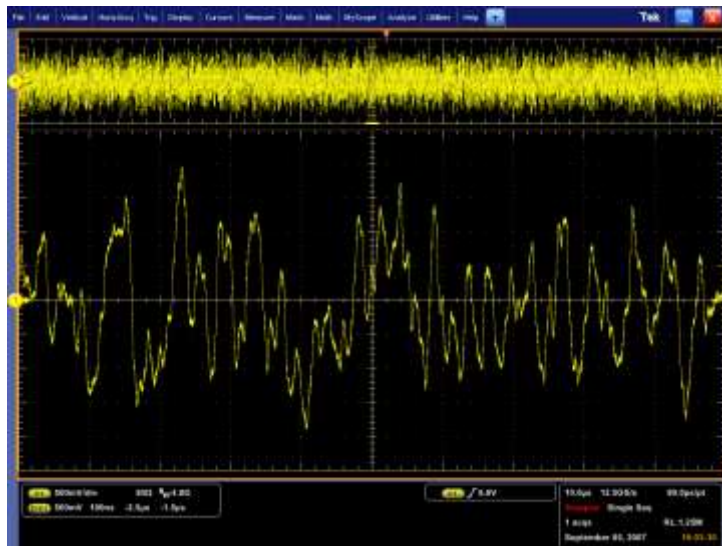
# Ethernet(100BASE-TX)物理層

- カテゴリ5のUTPケーブルで100Mbpsを実現
  - MLT3(Multi Level Transmission-3)
    - 電圧は、 $-V \rightarrow 0V \rightarrow +V \rightarrow 0V \rightarrow -V$  の順に変化
    - 伝送ビットが1なら電圧が変化、0なら変化しない
  - 4B5Bコーディング
  - スクランブラ
- フレーム間にアイドル信号を挿入
  - 連続信号方式( $\Leftrightarrow$ バースト信号方式:10Base-T)



# Ethernet(1000BASE-T)物理層

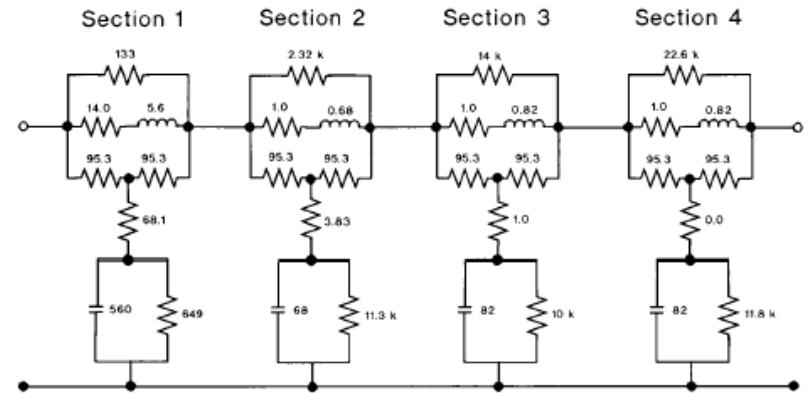
- カテゴリ5のUTPケーブルで1Gbpsを実現
  - 8B/1Q4符号
    - 8bitの2値(Binary)信号を5値(Quinary)信号4組に変換
      - PAM5 (Pulse Amplitude Modulation、5値)
      - 4組のツイストペアを双方向で同時連続通信
  - 8ns毎に信号が変位
- マスター／スレーブ・タイミング
  - スレーブ側の装置のクロックはマスターに同期



# 物理層の信号品質評価(10BASE-T)

- テスト信号を用意する必要有
  - ランダムパターン
  - ALL 0 または 1
  - リンク・パルス
- TPM(Twist Pair Model)適用
- 負荷を適用

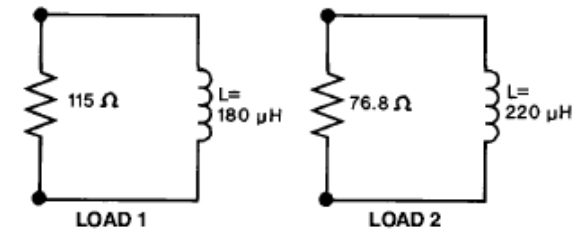
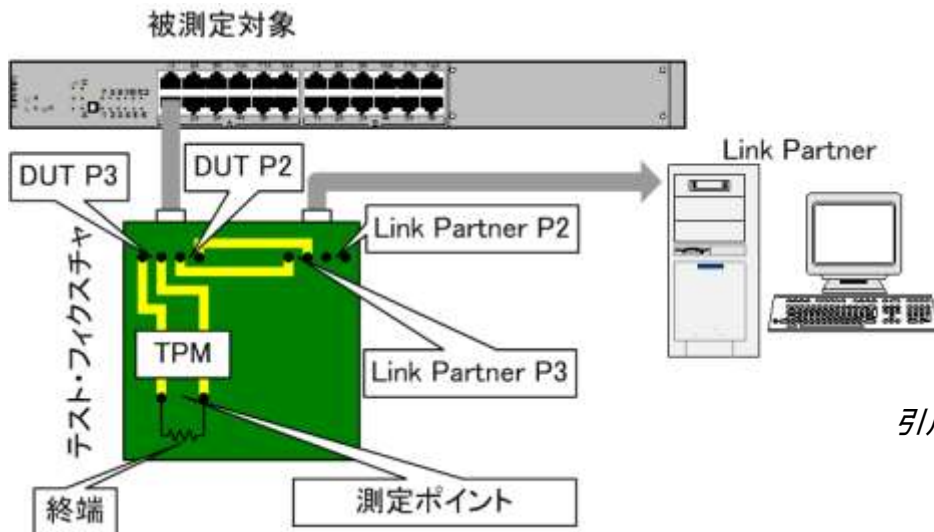
The insertion loss of the twisted-pair model when measured with a 100 Ω source and 100 Ω load shall be between 9.70 dB and 10.45 dB at 10 MHz, and between 6.50 dB and 7.05 dB at 5 MHz.



NOTE: Care must be taken that layout and parasitics do not exceed R, C, and L tolerance values.

Resistances are in Ω  
Capacitances are in pF  
Inductances are in μH

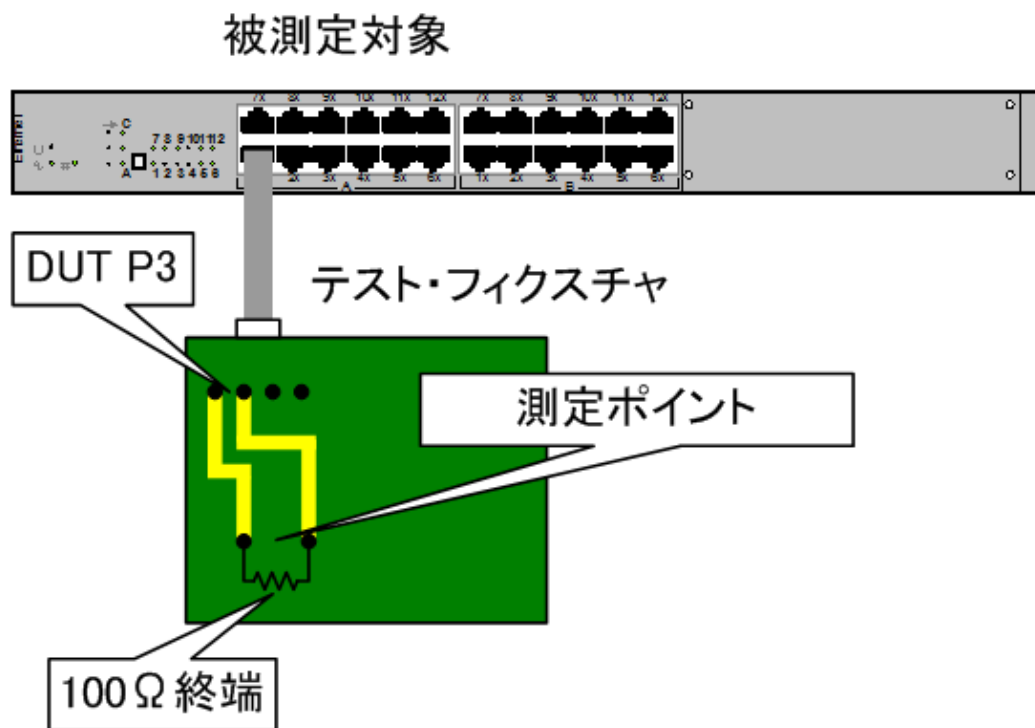
Figure 14-7— Twisted-pair model



引用: IEEE Std 802.3-2002 14.3 MAU electrical specifications

## 物理層の信号品質評価(100BASE-TX)

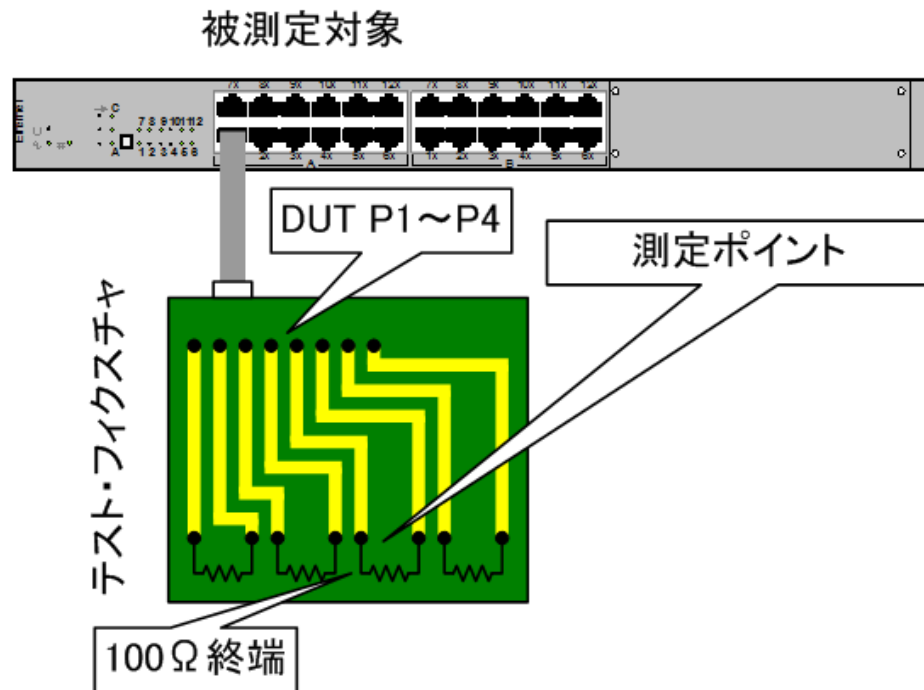
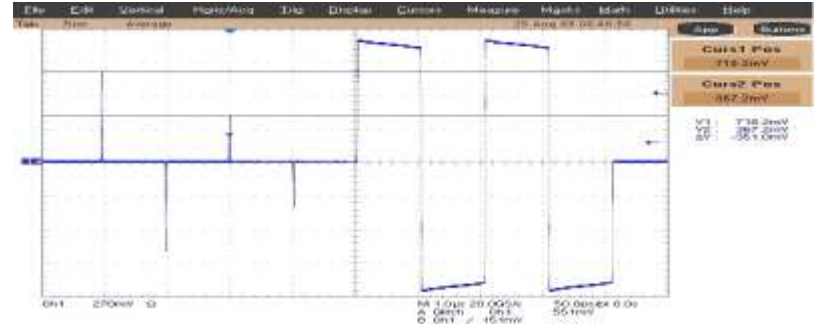
- スクランブル・アイドルで測定
  - オート・ネゴシエーションの場合はリンク・パートナーを使用
- 100Ω終端





# 物理層の信号品質評価(1000BASE-T)

- テストモード
  - Test Mode 1~4
  - 各ベンダー様にてTest Modeに設定する必要有
- 100Ω終端
- 4ペアすべて測定





## 評価に最適な測定器のご紹介

# USB2.0/Ethernetの評価に最適なオシロスコープ DPO/MSO5000シリーズ

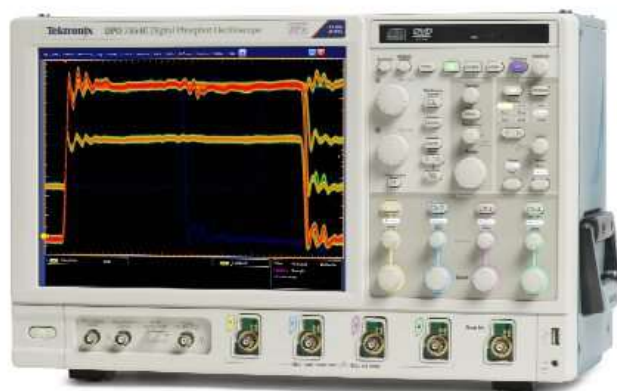
	DPO5204型 MSO5204型	DPO5104型 MSO5104型	DPO5054型 MSO5054型	DPO5034型 MSO5034型
周波数帯域	2GHz	1GHz	500MHz	350MHz
最高リアルタイム サンプルレート	10GS/s(1/2使用時) 5GS/s(3/4ch使用時)		5GS/s	
レコード長(標準)	25M(1/2ch使用時) 12.5M(3/4ch使用時)		12.5M	
レコード長 (最大オプション)	250M(1/2ch使用時) 125M(3/4ch使用時)		125M	



※USB2.0 High Speedの信号を観測するには2GHz以上の周波数帯域が必要

# USB2.0/Ethernetの評価に最適なオシロスコープ DPO7000Cシリーズ

	DPO7354C型	DPO7254C型	DPO7104C型	DPO7054C型
周波数帯域	3.5GHz	2.5GHz	1GHz	500MHz
最高リアルタイム サンプルレート	40GS/s(1ch使用時) 20GS/s(2ch使用時) 10GS/s(3/4ch時)		20GS/s(1ch使用時) 10GS/s(2ch使用時) 5GS/s(3/4ch時)	
レコード長(標準)	50M(1ch使用時) 25M(2ch時) 12.5M(3/4ch時)			
レコード長 (最大オプション)	500M(1ch使用時) 250M(2ch時) 125M(3/4ch時)		200M(1ch使用時) 100M(2ch時) 50M(3/4ch時)	



# USB/Ethernetの検証に最適なプローブ

- P6248型 / TDP1500型 差動プローブ
  - 周波数帯域: 1.5GHz
  - 高いCMRR: 60dB@1MHz、30dB@1GHz
  - 差動電圧信号を直接オシロスコープで観測
- P6245型 / TAP1500型 FETプローブ
  - 周波数帯域: 1.5GHz
  - 低容量: 1pF以下
- TCP202型 / TCP0030型 電流プローブ
  - 周波数帯域: 50MHz(TCP202型)
  - 120MHz(TCP0030型)
  - 電流値を直接オシロスコープで観測



# USB2.0/Ethernetの評価に最適な信号発生器 AWG5000Cシリーズ

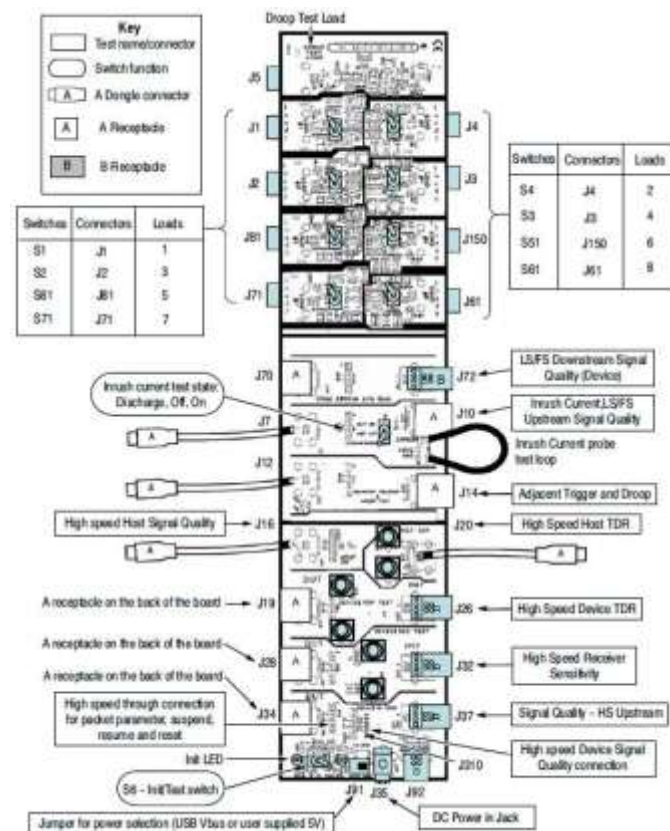
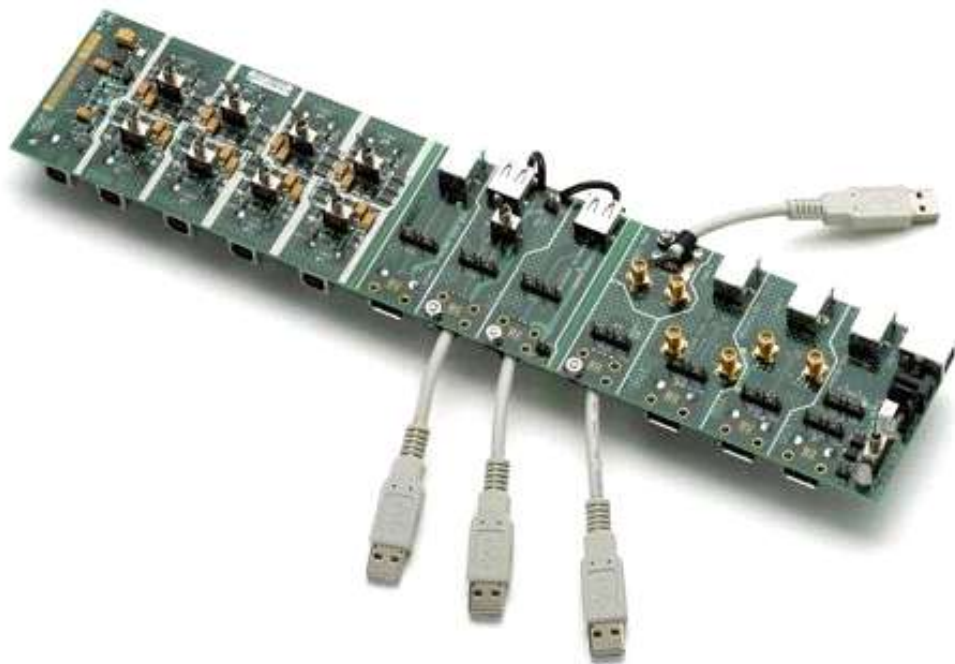
	AWG5014C型	AWG5012C型	AWG5002C型
チャンネル数	4ch	2ch	
サンプルレート	10MS/s~1.2GS/s		10MS/s~600MS/s
分解能	14bit		
波形メモリ長	16Mポイント(標準) / 32Mポイント(オプション)		
マーカ出力	8ch(1chにつき2出力)	4ch(1chにつき2出力))	

- USB2.0
  - レシーバ、スケルチ・テスト
- Ethernet
  - リターン・ロス
  - ディスタービング・シグナル



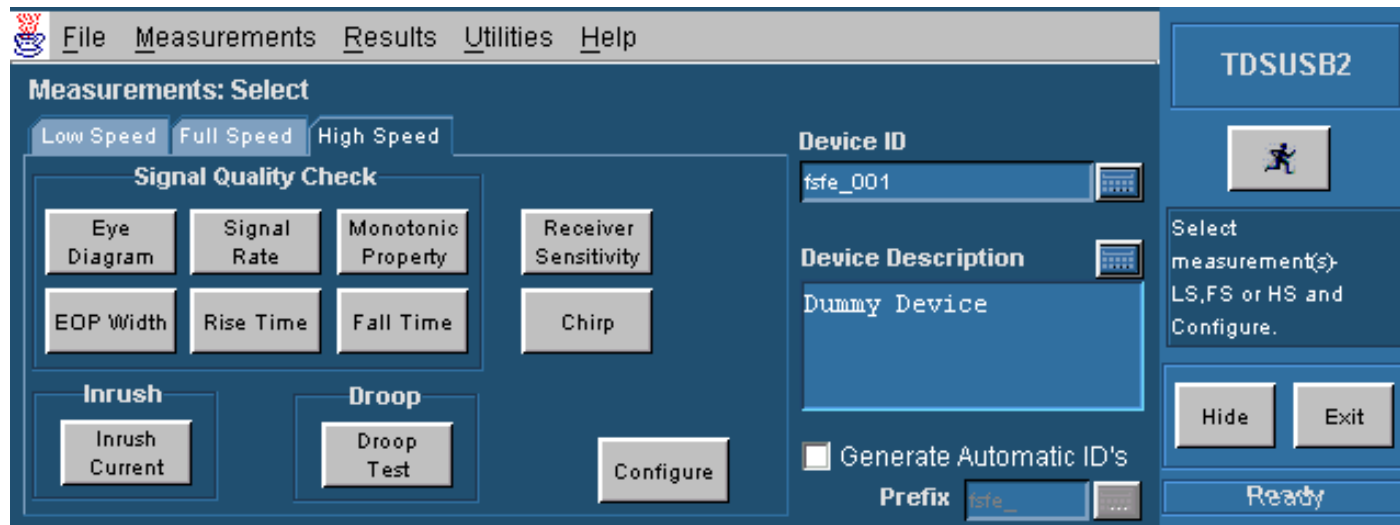
# USBテスト・フィクスチャ

- 信号のプロービング
- すべての転送レート(LS、FS、HS)に対応
- Host、Hub、Device測定に対応



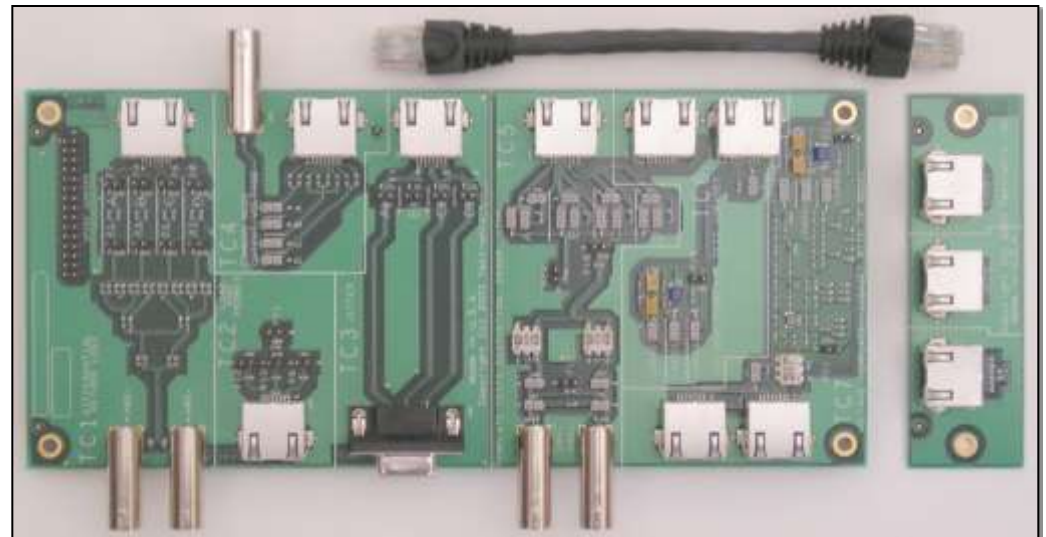
# TDSUSB2コンプライアンス・テスト・ソフトウェア

- コンプライアンス・テストの自動化
  - DPO7000C、DPO/DSA/MSO70000C及びMSO/DPO5000シリーズに対応
  - ボタン一つで自動測定
- USB-IFのTest Procedureに完全準拠



# Ethernetテストフィクスチャ

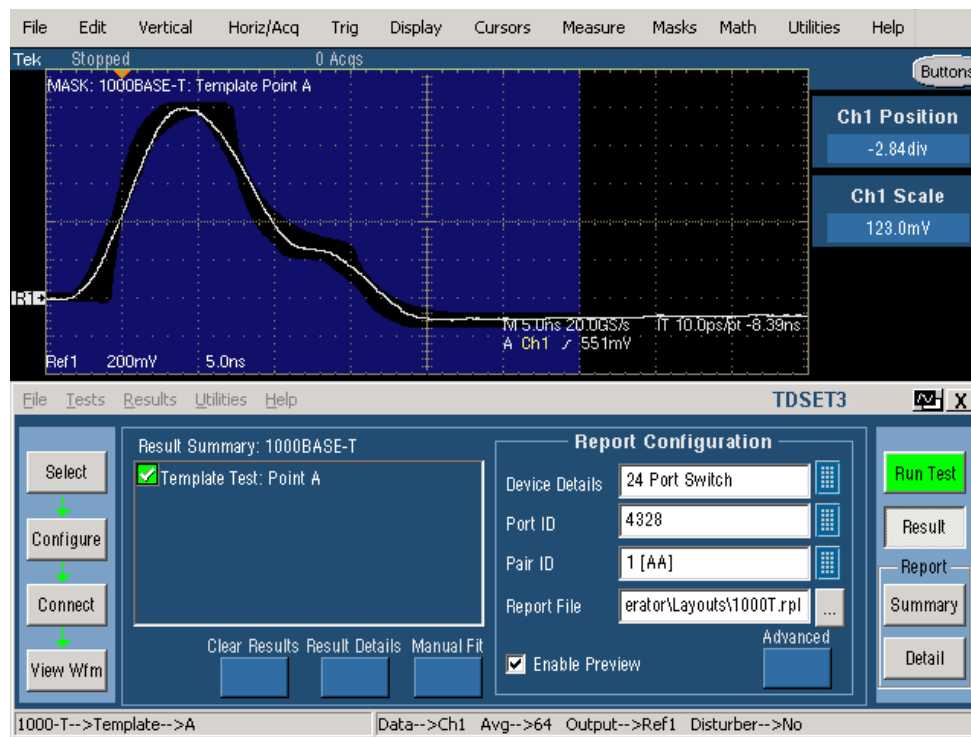
- 信号のプロローピング
- 10BASE-T、100BASE-TX、1000BASE-Tに対応
- リターン・ロス測定
- 1000BASE-Tのディスタービング・シグナルに対応
- TMP





# TDSET3イーサネット・コンプライアンス・テスト・ソフトウェア

- コンプライアンス・テストの自動化
  - DPO7000C、DPO/DSA/MSO70000C及びMSO/DPO5000シリーズに対応
  - ボタン一つで自動測定
- UNH-IOLのテストに完全準拠



## 参考文献

- Universal Serial Bus Specification Revision2.0 (USB-IF)
- High-speed Electrical Test Procedure (USB-IF)
- USB2.0 Electrical Test Specification (USB-IF)
- UBS2.0 Specification Engineering Change Notice(ENC)  
#1:Mini-B connector (USB-IF)
- Universal Serial Bus Micro-USB Cables and Connectors  
Specification (USB-IF)
- IEEE Std 802.3-2002
- ANSI X3.263-1995

本テキストの無断複製・転載を禁じますテクトロニクス社 Copyright Tektronix

 **Twitter**    [@tektronix\\_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)  
 **Facebook**    <http://www.facebook.com/tektronix.jp>