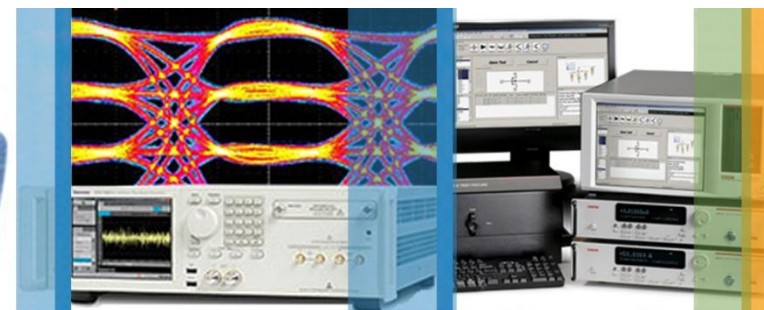


100GEthernet

物理層におけるジッタとノイズ解析

テクトロニクス／ケースレー
イノベーション・フォーラム 2013



テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2013

神林 一郎

www.tektronix.com/ja

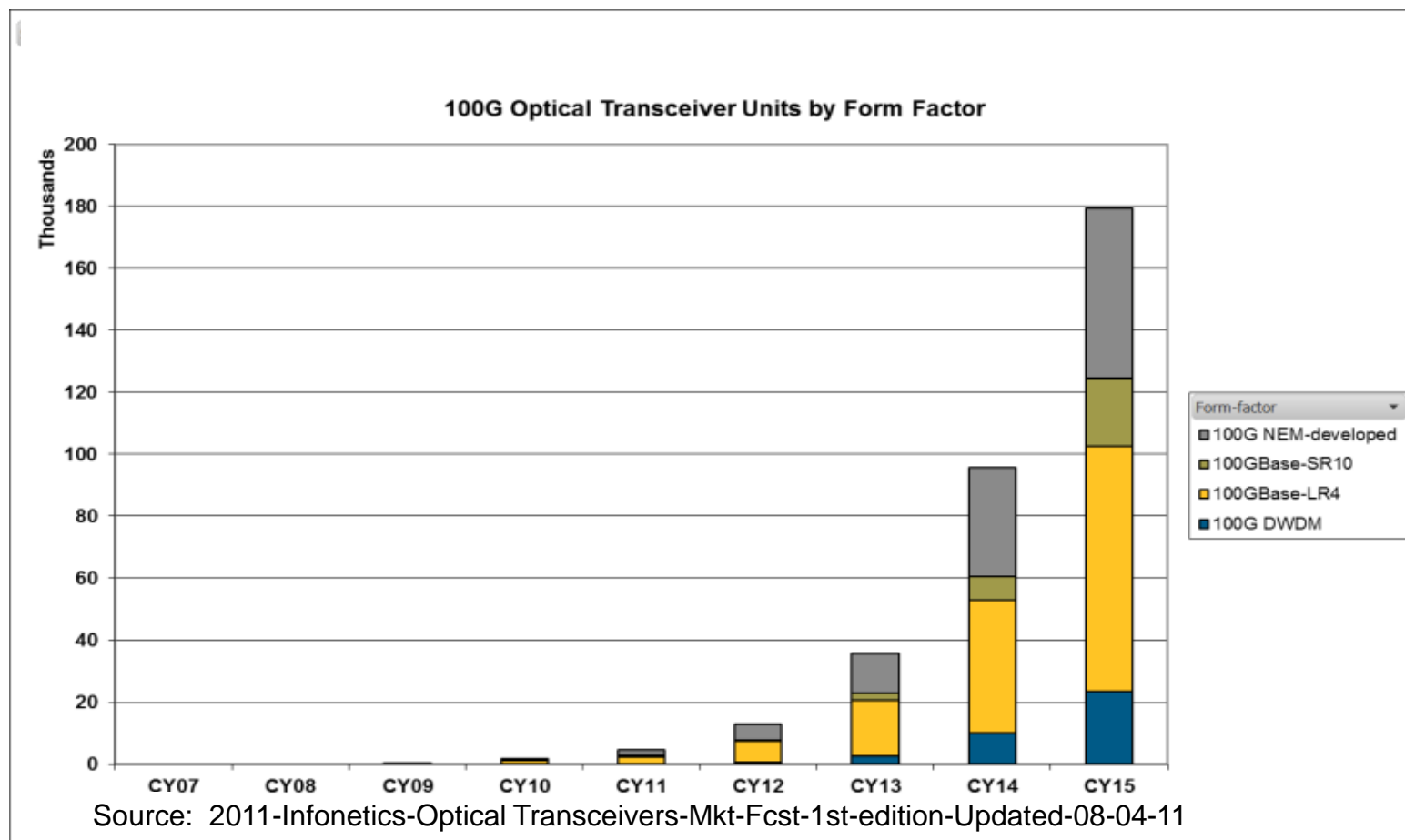
Tektronix[®]

セミナー内容

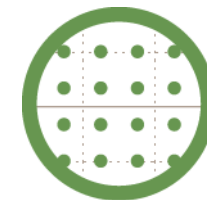
- 100G市場動向
- 市場変化と測定要求
- 100G標準規格
- CEI-28G-VSR
- Transmitter
- 100G Ethernetレイヤ構造
- 100GBASE-LR4/ER4 アイダイアグラム
- Stressed receiver sensitivity
- VECP、OMA測定
- J2、J9ジッタ測定
- 測定系仕様

100G市場動向

- 長距離データ・スループットの高速化への要求は継続して増加
- 既存ファイバー基盤を生かした高速化への対応が必要
- 変調方式の進化によりスループットの高速化に対応



市場変化と測定要求 Optical



市場変化

データスループットの増加
にともない高速化が要求される

既設のファイバ網の再構築
にはコストがかかりすぎる
ために、既存のファイバ網
にて市場要求を満たしてい
くには変調方式を複雑にせ
ざるを得ない

市場の広がり

、メトロ、企業内、クライアント内
のネットワークデータスループッ
トの増加

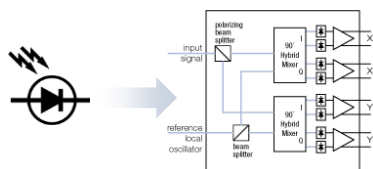
光インターコネクットの増加

短距離における光ネットワ
ークの伝送データ容量の
増加

基板間 (BtoB)、基板とモ
ジュール間 (BtoM) の電気
インタフェースの置き換え
需要の増加

測定への要求

光リファレンスレーザと解析ソフ
トウェアに複雑な変調方式へ解析
要求



測定ソリューション

光コヒーレント変調解析
OMAシリーズ

コヒーレント変調解析をリアルタイム
オシロとサンプリングオシロの両方
にて解析をする

400Gスーパーチャンネルの測定を
導入

マルチレベルへの対応

マルチレベル信号の測定では低ノ
イズ、高垂直分解能を必要とする

マルチチャンネル化

高いビットレートにて 8-16チャン
ネルをドライブすることが必要

高帯域マルチモードの要求

高帯域 (32 GHz)、短波長マルチ
モードにおいて高感度、低ノイズの
測定要求

測定環境の進化

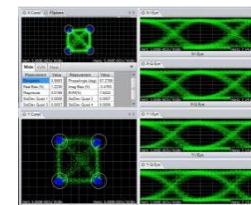
光サンプリングモジュールのTIAに
よる感度向上とマルチレベル測定
アルゴリズムの開発

4/8/16 チャンネルの光アキュイジシ
ョンシステムの開発

マルチチャンネルにて 32 Gb/s パ
ターンゼネレータの提供

マルチモードにて高帯域(32Gb/s)
、高感度、低ノイズの光モジュール
の開発、

100G DP-QPSK & 16QAM
400G "super-channels"
OTN
40G NRZ
EPON
GPON



40Gb/s、100Gb/s規格の変調フォーマット Optical communication

Application	Standards	Modulation Formats	Bit Rate	Physical Medium
40 Gb/s Datacom (LAN)	IEEE P802.3ba 40GBase-SR4	NRZ	4 x 10.3125 Gb/s	Parallel MMF ribbon cable (OM3) / 100m reach
	40GBase-LR4	NRZ	4 x 10.3125 Gb/s	CWDM SMF / 10km
	40GBase-LR (future serial)	NRZ	41.25 Gb/s	SMF / 10km
100 Gb/s Datacom (LAN)	100GBase-SR10	NRZ	10 x 10.3125 Gb/s	parallel MMF ribbon cable (OM3)
	100GBase-LR4 100GBase-ER4	NRZ	4 x 25.781 Gb/s	WDM on SMF 10km, 40km
40 Gb/s Telecom (Metro, WAN, Long-haul)	ITU-T OC768 / STM256 / OTU3 G.709 VSR-2000	NRZ, RZ Duobinary DPSK	39.813 Gb/s and 43.018 Gb/s	(D)WDM SMF
		DQPSK	2 x 20 Gb/s	(D)WDM SMF
	<i>Nortel</i> proprietary (deployed)	DP-QPSK (with coherent receiver)	4 x 10 Gb/s	DWDM on SMF
	<i>Nortel</i> proprietary (future)	DP-BPSK (coherent RX)	2 x 20 Gb/s	DWDM SMF (ULH)
100 Gb/s Telecom (WAN)	OIF (physical medium layer)	DP-QPSK (with coherent receiver)	Up to 4 x 32Gb/s	DWDM on SMF (ULH) >1000km reach
	ITU-T (higher layers) OTU-4	<i>not specified</i>	112 Gb/s (aggregate)	DWDM SMF
	<i>ADVA</i> proprietary (R&D)	DPSK-3ASK	2.5 x 40 Gb/s	Metro DWDM 40 - 600km
	Other early R&D	OFDM, APSK, nQAM		SMF

100G 標準規格

Distance	Standard	Modulation/Signaling	e.g.
>40km	OIF、 OTN、 ITU	Complex optical	DP-QPSK
10~40km	Ethernet	NRZ Single-Mode	100GBASE-L/E R4
100m~2km	Ethernet	NRZ MMと SM	100GBASE-SR4
10m	Ethernet	NRZ Electrical , Optical	100GBSE-CR4
<1m Backplane	EThernet OIF CEI	NRZ、 PAM4	100GBASE-KR4、 KP4、 CEI LR
Interconnect (Chip to Chip) (Module to Chip)	Ethernet OIF CEI	NRZ	VSR CAUI4

100G across the board

VSR: Very Short Reach Interface
 OIF: Optical Internetworking Forum
 CEI: Common Electrical I/O
 CAUI4: 25.8Gbps x 4

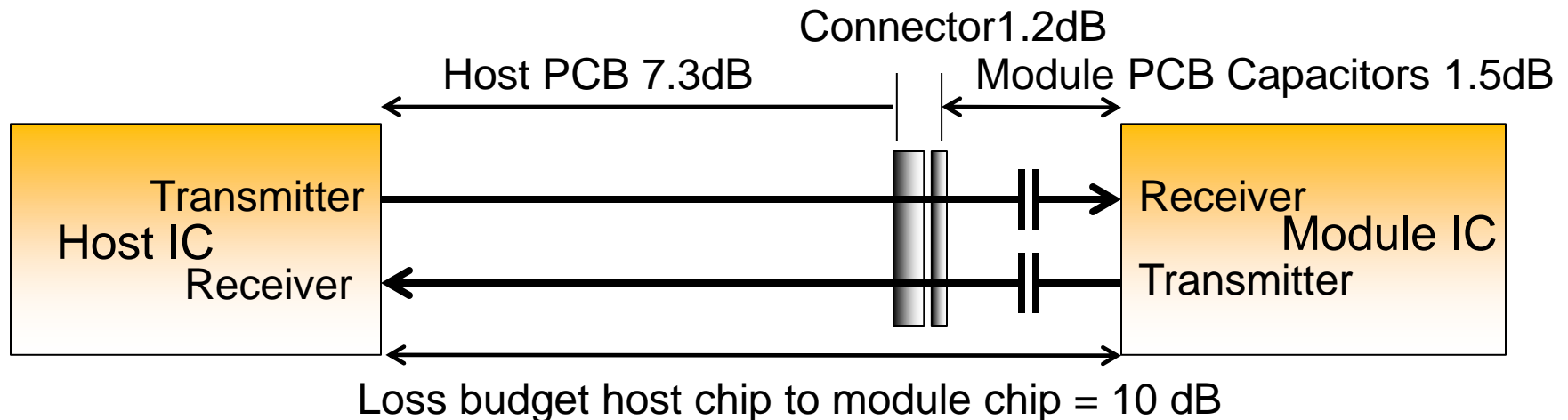
CEI-28G-VSR

OIFにて提案された電気仕様

- OIF-2012 Implementation Agreement Drft7.1
 - ホスト～モジュール間の電気的特性を規定
 - CFP2、CFP4電気インタフェースとして採用
- 規格内容の特徴
 - OIF2010 Draft7.1になり複雑なジッタ解析が提案された
 - 数mVを測定するための測定系の高いダイナミックレンジとノイズ特性を求める
 - 最小8ps(20%~80%)のTransition Timeの高い周波数帯域が提案された
- ジッタ解析要求
 - Uncorrelated Unbounded Gaussian Jitter (UUGJ)の測定
 - 非有界非相関ガウシヤンジッタ ジッタ周期に特定のピーク点を持たずにデータとの相関を持たないジッタ成分、PDFはガウス分布を取る、ジッタ成分からBUJを除いたRJ成分に近似
 - Uncorrelated Bounded High Probability Jitter (UBHPJ)の測定
 - 非有界相関ジッタ ジッタ周期に特定のピーク点を持たずにデータとの相関性を持つジッタ、BUJとPJとのコンビネーションで構成される
- CTLEイコライズ機能

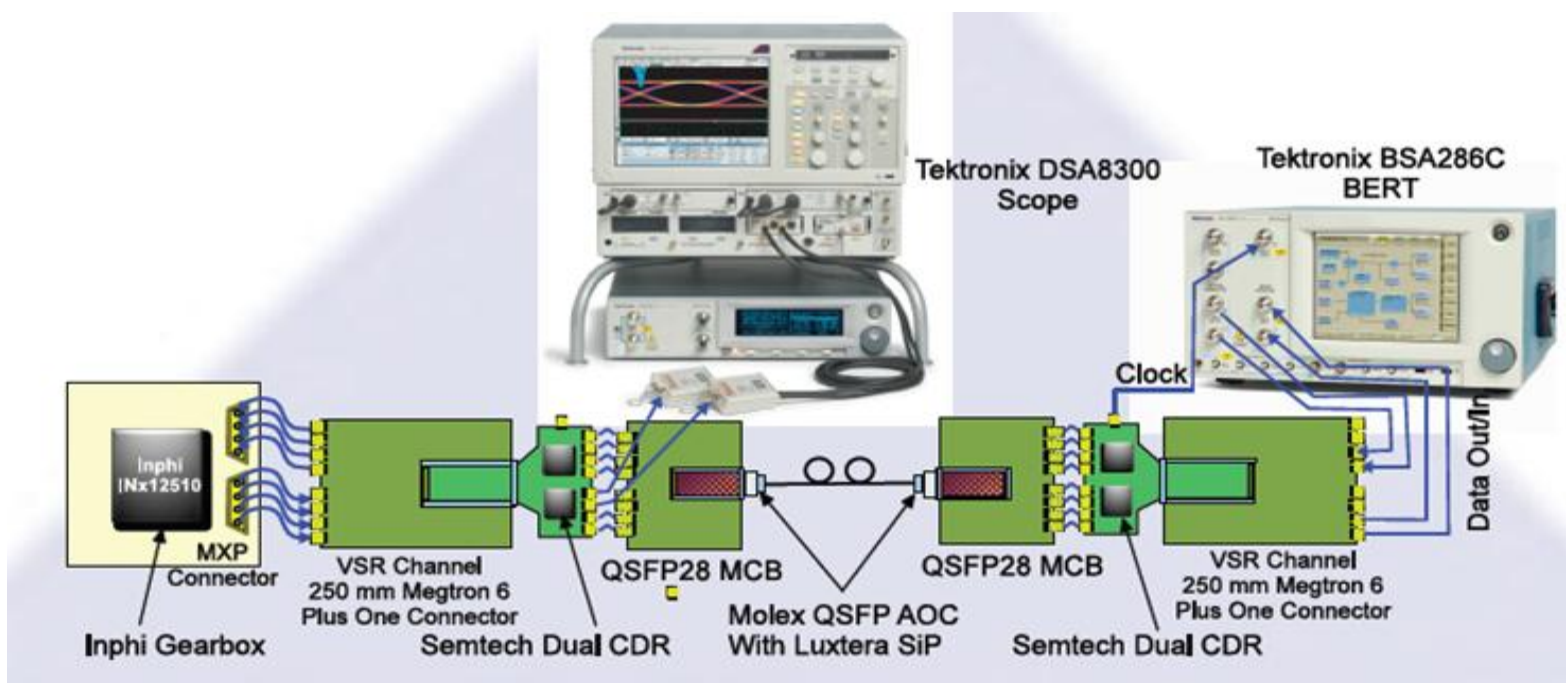
Host to Module間電気仕様

- OIFにて提案されたHost to Module, Module to Host間の電気仕様
 - 一般仕様: Pattern, Differential Output Voltage, BER
 - 電気的特性 : Differential Output Voltage, Return Loss, Common-differential conversion, Common mode Noise, Eye-width, Eye-Height
- Host Transmitter output specification
 - Differential Voltage, Common-mode-voltage, Transition Time, Jitter
 - Measurements Method



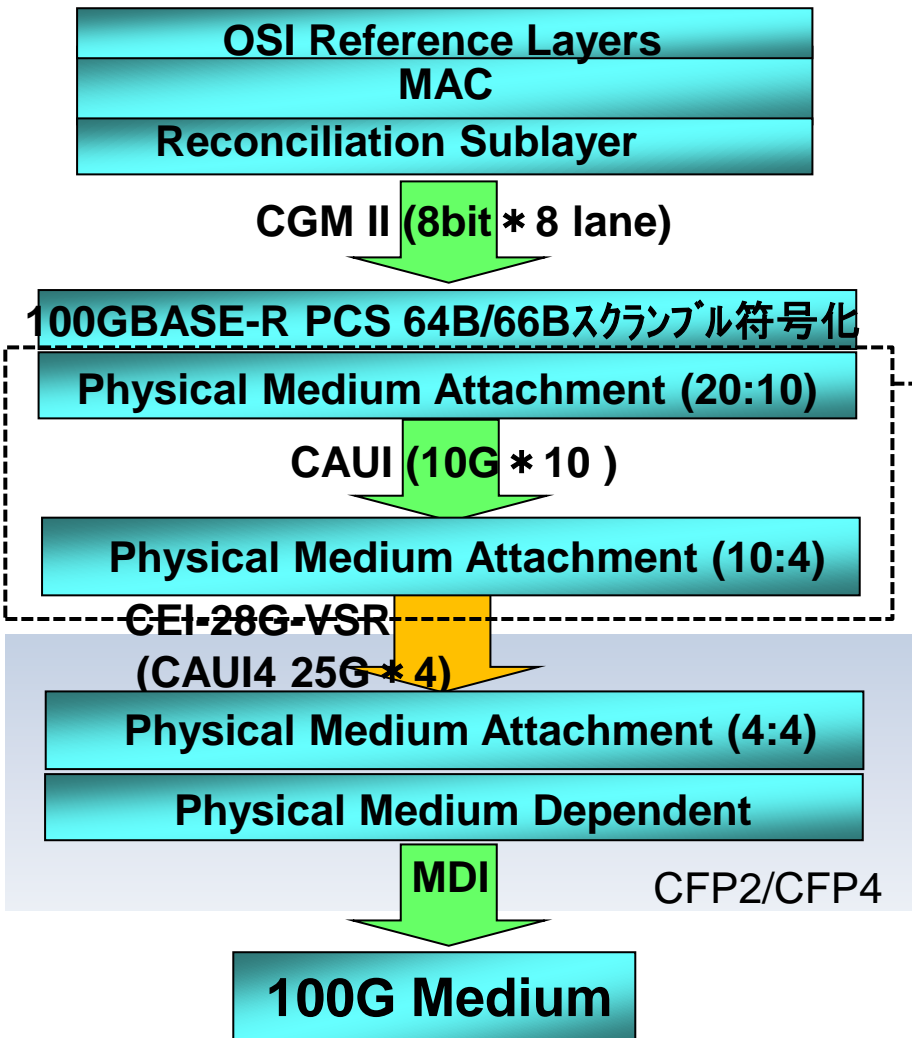
IEEE802.3ba CEI-28G-VSR 測定系

- ・CEI-28G-VSRが規定するトポロジ
- ・OIFで規定する28G-CFP2HOST～CFP2モジュール・エンドポイント トポロジ
- ・OIF 28G-VSR仕様は、100GE, OTN, 32GFC and IB EDR の基本構成ブロックを示す

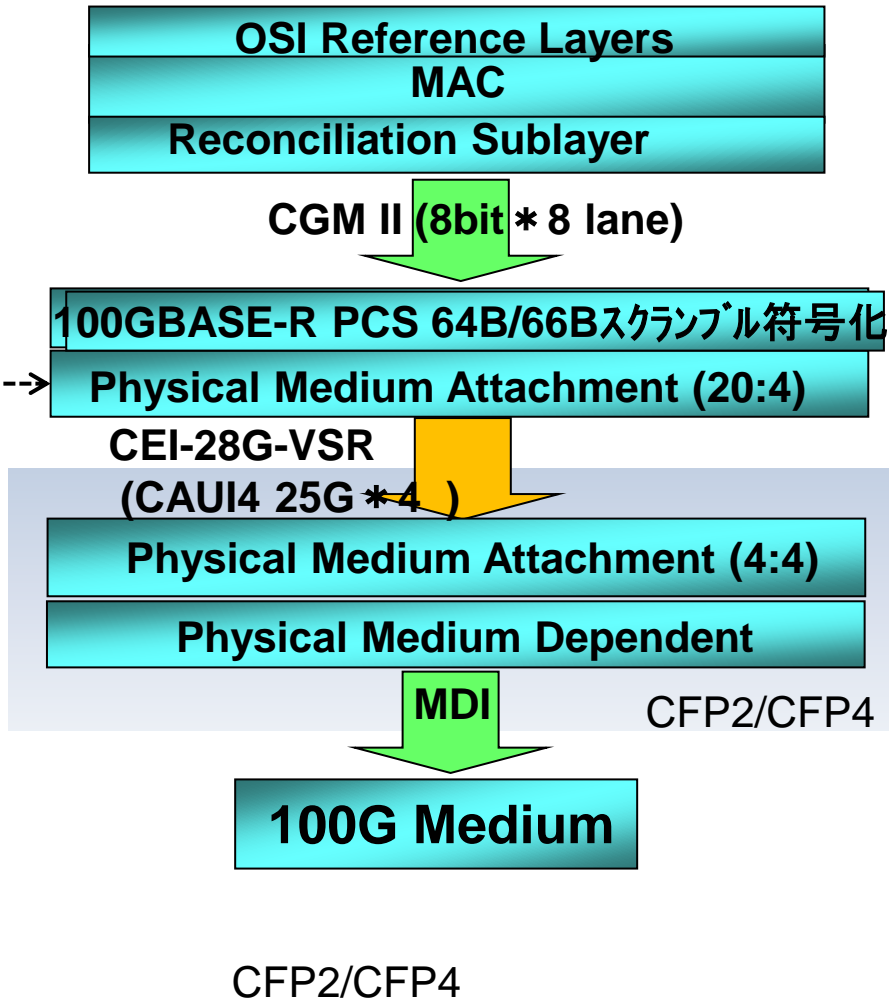


IEEE802.3ba 100GBASE-LR CEI-28G-VSR レイヤ位置

Generation 2



Generation 3



OIF-2012.290.00 Implementation Agreement Drft7.1

1.B.1.1 Host-to-Module transmitter output Electrical Specifications

It is recommended that each host-to-module lane meet the specifications of [Table 1-9](#).

Table 1-9. Host-to-Module Electrical Specifications at TP0a

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Conditions
Differential Voltage, pk-pk	T_Vdiff	600	-	mV	PRBS31 pattern. Emphasis off. Note 1
Common Mode Voltage	T_Vcm	-100	1700	mV	Note 2
Differential resistance	T_Rd	80	120	ohms	
Differential resistance Mismatch	T+_Rdm	-	10	%	at 1 MHz
Differential Return Loss	T_SDD22	-	See 10.3.1.3 (CEI-28G-SR)	dB	
Transition Time: 20/80%	T_tr, T_tf	8	-	ps	Emphasis off.
Common Mode Noise, rms	T_Ncm	-	12	mV	See 12.3
Uncorrelated Unbounded Gaussian jitter	T_UUGJ	-	0.15	UI	
Uncorrelated Bounded high probability jitter	T_UBHPJ	-	0.15	UI	Note 4
Duty Cycle Distortion (component of UBHPJ)	T_DCD	-	0.035	UI	Note 5
Total Jitter	T_TJ	-	0.28	UI	Note 3

Note 1: Max voltage is limited by specifications at TP1a

Note 2: Load type 0 with min. T_Vdiff, AC-Coupling or floating load.

Note 3: T_TJ includes all of the jitter components measured without any transmit equalization

Note 4: Measured with all possible values of transmitter equalization, excluding DD I

OIF CEI TX ジッタ解析

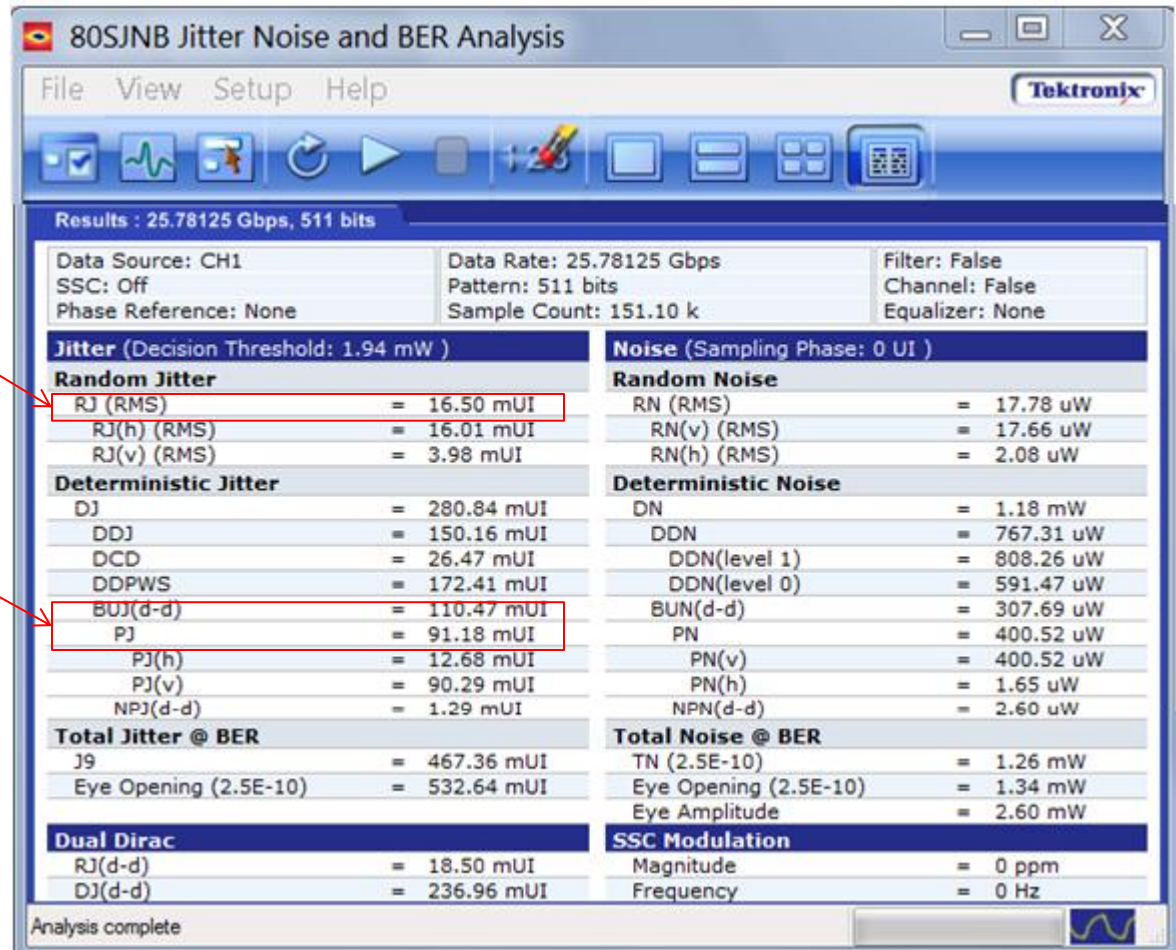
- 複雑なジッタ解析を要求する
 - 詳細なジッタ成分の分離
 - ノイズ解析をする

UUGJ

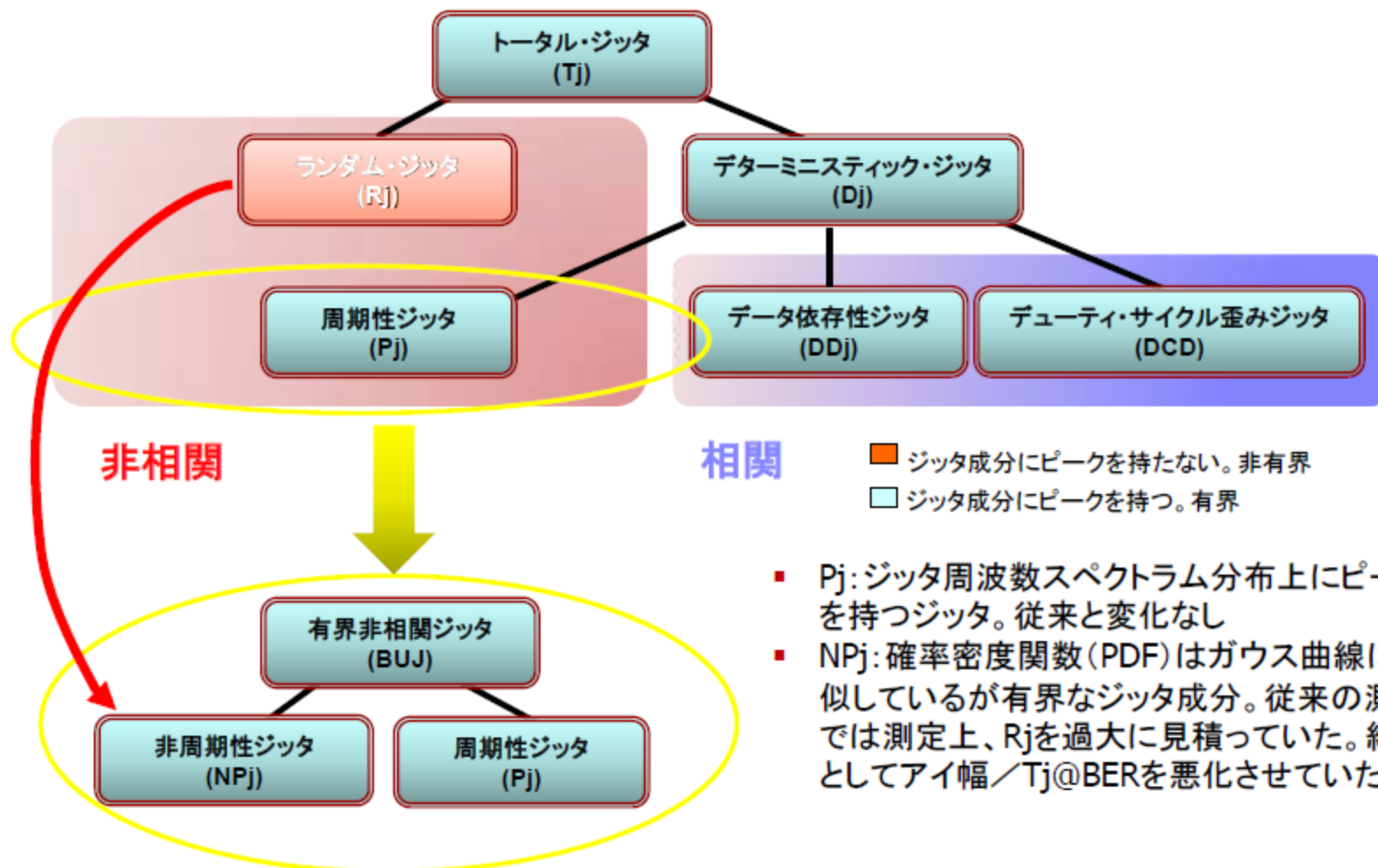
非有界非相関ジッタ
ジッタ成分からBUJを除いたRJに近似したジッタ

UBHPJ

非有界相関ジッタ
BUJ(非相関ジッタ)とPJの組み合わせで構成



ジッタの分離

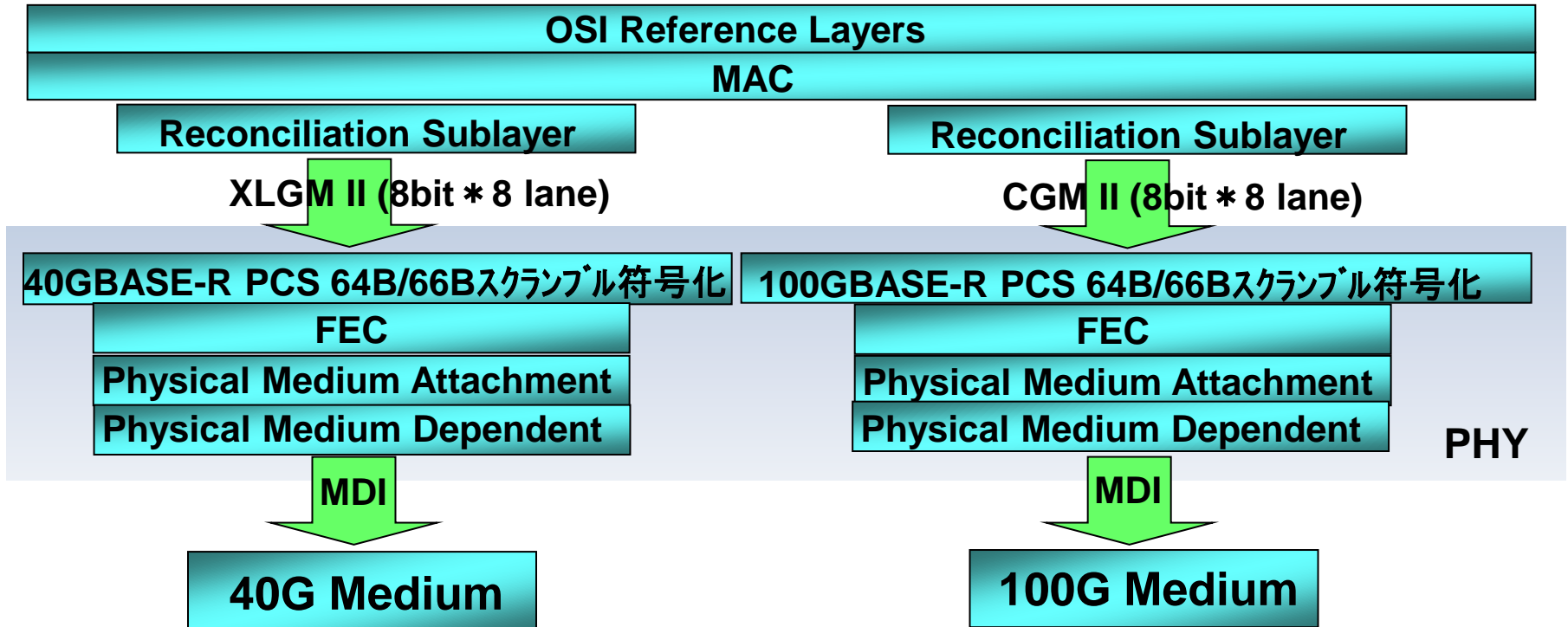


Transmitter測定

IEEE802.3ba規格項目

1. Media Access Control
2. Data Input/Output MDIO interface
3. PMD sublayer
4. Introduction to Ethernet operation over electrical Back plane
5. Auto negotiation for backplane and copper cable
6. FEC sublayer for 10GBASE-R PHYs
7. Physical Coding Sublayer, Media Independent Interface for 40G and 100G (XLGMII)
8. Physical Medium Attachment (PMA) Sublayer for 40GBASE-R and 100GBASE-R
9. Physical Medium Dependent Sublayer 40GBASE-KR
10. Physical Medium Dependent Sublayer 40GBASE-CR4, 100GBASE-CR10
11. Physical Medium Dependent Sublayer 40GBASE-SR4, 100GBASE-SR10
12. Physical Medium Dependent Sublayer 40GBASE-LR4
13. Physical Medium Dependent Sublayer 100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4
14. Annex Interface tolerance testing
15. Annex Interconnect characteristics
16. Annex 40Gbps Attachment Unit Interface XLAUI and 100Gbps CAUI
17. Annex Chip-module 40Gbps Attachment Unit Interface XLAUI 100Gbps
18. PMA Sublayer partitioning examples
19. 40GBASE-CR4, 100GBASE-CR10 TP0 and TP5 test point parameters
20. Parallel Physical Interface for 40GBASE-SR4, LR4, 100GBASE-SR10

100Ethernet レイヤ構造



- XLGMII / CGMII: Mac層と物理インターフェースを結ぶ論理インターフェース
- MDIOにてReset, Loopback, Tx test mode, Rx test modeを制御 LSI内部 I/F
- FEC とPMA間にCTBI (100Gbit Ten Bit Interface) が提唱されているが802,3baでは規定していない
http://www.ieee802.org/3/hssg/public/jan07/gustlin_01_0107.pdf
- PMA : 10レーン入力データを4レーンデータに変換する
- PMD : 各物理メディアに依存したTestポイントが指定され電気特性仕様、光特性仕様が規定される

Transmitter 仕様項目

- Side-mode suppression ratio (SMSR), (min)
- Total average launch power (max)
- Average launch power, each lane (max)
- Optical Modulation Amplitude (OMA), each lane (max, min)
- Difference in launch power between any two lanes (OMA)
- Launch power in OMA minus TDP, each lane (min)
- Transmitter and dispersion penalty (TDP), each lane (max)
- Average launch power of OFF transmitter, each lane (max)
- Extinction ratio (min)
- RIN20OMA (max)
- Optical return loss tolerance (max)
- Transmitter reflectance_{ec} (max)
- Transmitter eye mask definition {X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3}

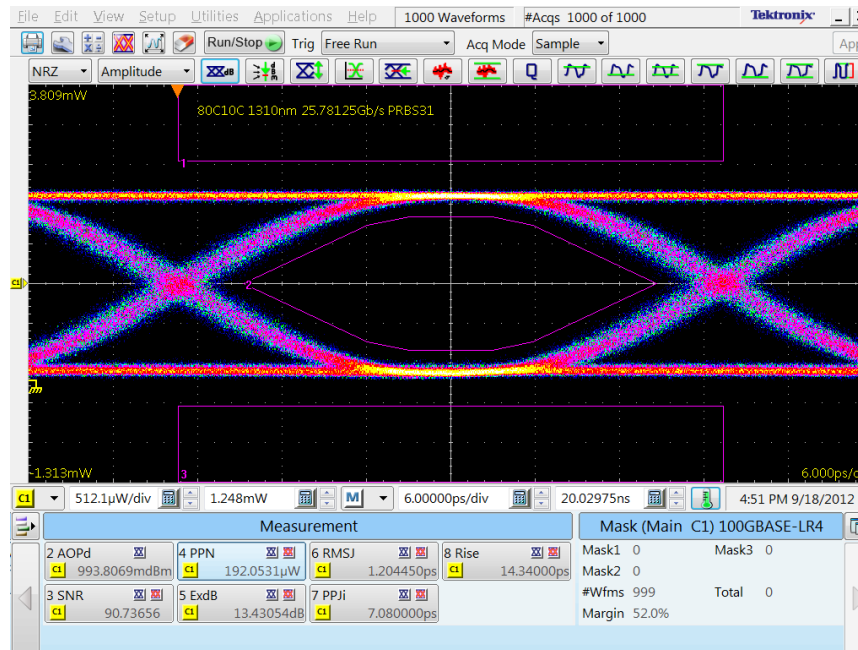
伝送信号の特徴

- 測定系の低ノイズ化
 - 伝送信号の低振幅化
 - ビットレートが高速なためスルーレートに依存した垂直ノイズの影響を受けやすくジッタ要因となりアイダイアグラムへ影響を与える
- 光・電気信号への対応と周波数帯域
 - 電気信号、長波長光信号、短波長光信号を測定する
 - 28Gbpsの3次高調波は42GHzになり50GHz以上の測定系周波数帯域が必要とされる
- ジッタ仕様
 - 構成部品(コンポーネント): <100fs to <200fsのジッタ仕様
 - 電気システム: 300fsジッタ仕様
 - 光学システム: 400fsジッタ仕様
- マルチレーン
 - 並列する電気信号、光信号のアクイジションをする

Transmitter measurements

100GBASE-LR4/ER4 アイダイアグラム

- 10GBASE-R Single Mode光規格と近似した測定を要求
- 100GEthernet測定にて新たに定義された項目
 - 光リファレンスレーザの帯域を19.34GHz
 - クロックリカバリ PLL BW を10MHz~20MHzの範囲で要求
 - 25Gbps、28Gbps仕様の規格マスクを要求
 - マスクヒットレートを 5×10^{-5} (0.005%)を要求



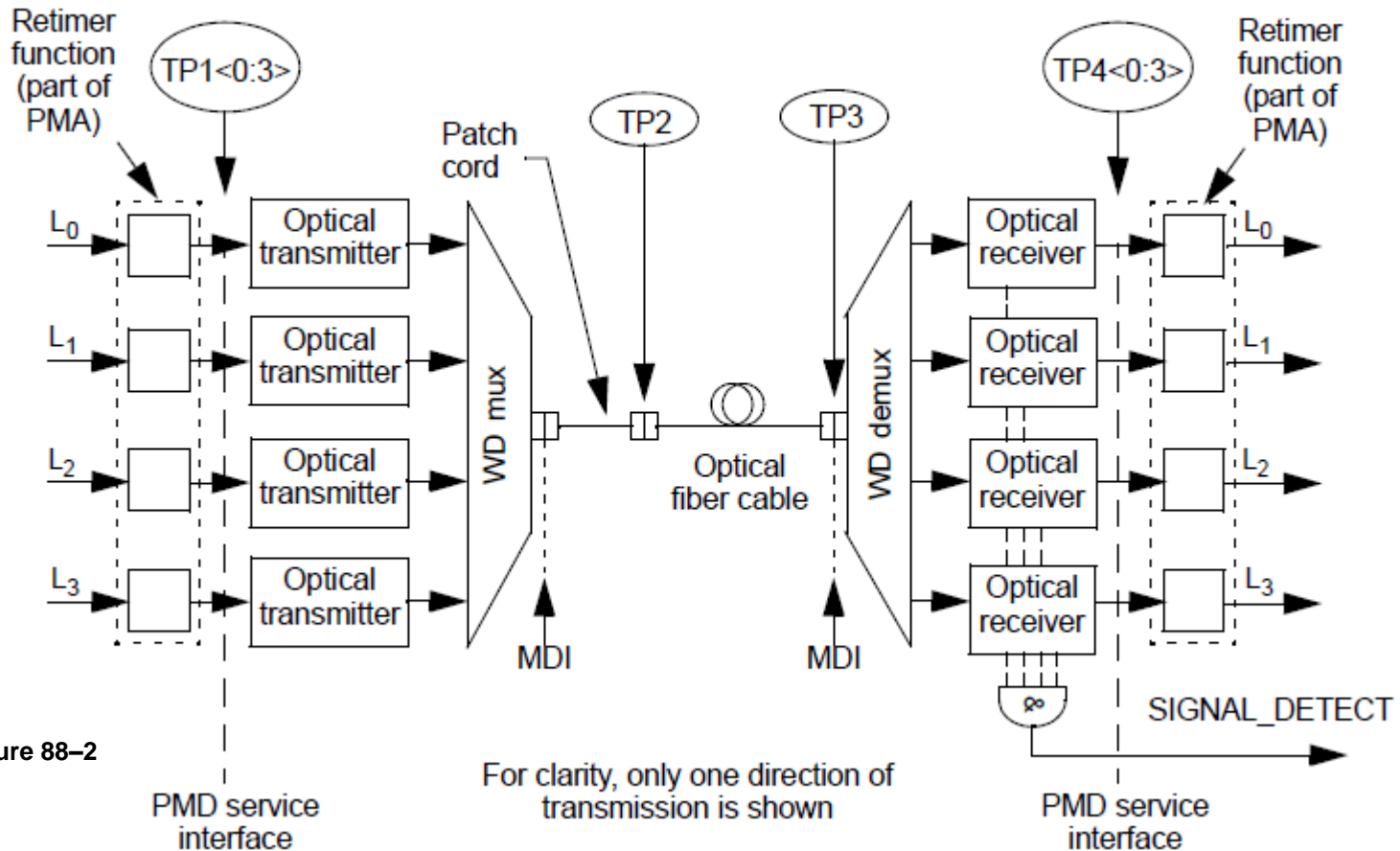
100GBase-LR4マスク・テスト

Receiver測定

Receiver measurements

Test Point

- ストレス試験
 - TP3よりストレス光源を入力してTP4測定
- Jitter項目
 - TP4の電気信号を測定



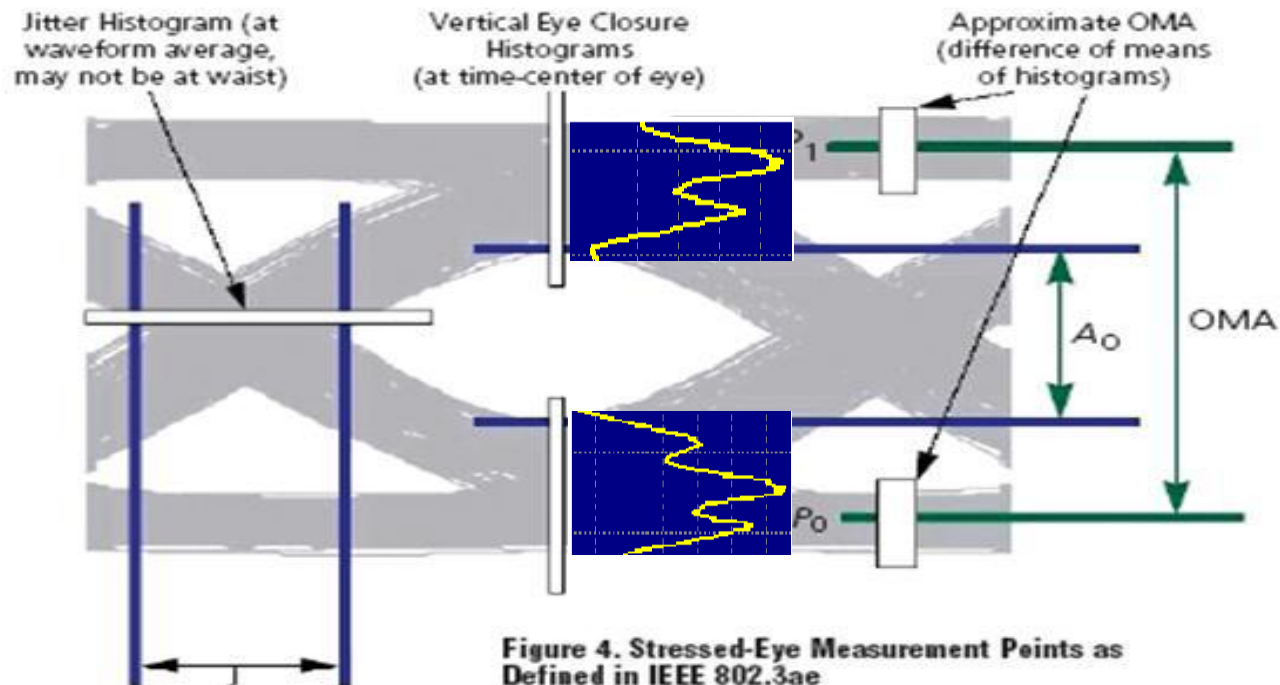
IEEE802.3ba Figure 88-2

Receiver 仕様項目

- Damage threshold
- Average receive power
- Difference in receive power between any two lanes (OMA)
- Receiver reflectance (max)
- Stressed eye J9 Jitter each lane
- Receiver sensitivity (OMA), each lane (max)
- Receiver 3 dB electrical upper cutoff frequency, each lane (max)
- Stressed receiver sensitivity (OMA), each lane (max)
- Conditions of stressed receiver sensitivity test
 - Vertical eye closure penalty each lane
 - Stressed eye J2 Jitter each lane
 - Stressed eye J9 Jitter each lane

VECP、OMA測定

- VECP (Vertical Eye Closure Penalty)
 - $VECP = 10 \log_{10} (OMA / A_0)$ により求める
 - A_0 はEye時間中心位置におけるHigh垂直ヒストグラム分布0.05%位置とLowヒストグラム分布99.95%位置のアンプリチュードを表す
- OMA (Optical Modulation Amplitude)
 - Highヒストグラム分布Meanレベル、Lowヒストグラム分布のMeanレベル差がOMA
 -



Stressed receiver sensitivity

- Physical Medium Dependent (PMD) sub-layer
- 40GBASE-SR4
- 100GBASE-SR10
- 100GBASE-ER4
- 100GBASE-LR4
- にて要求

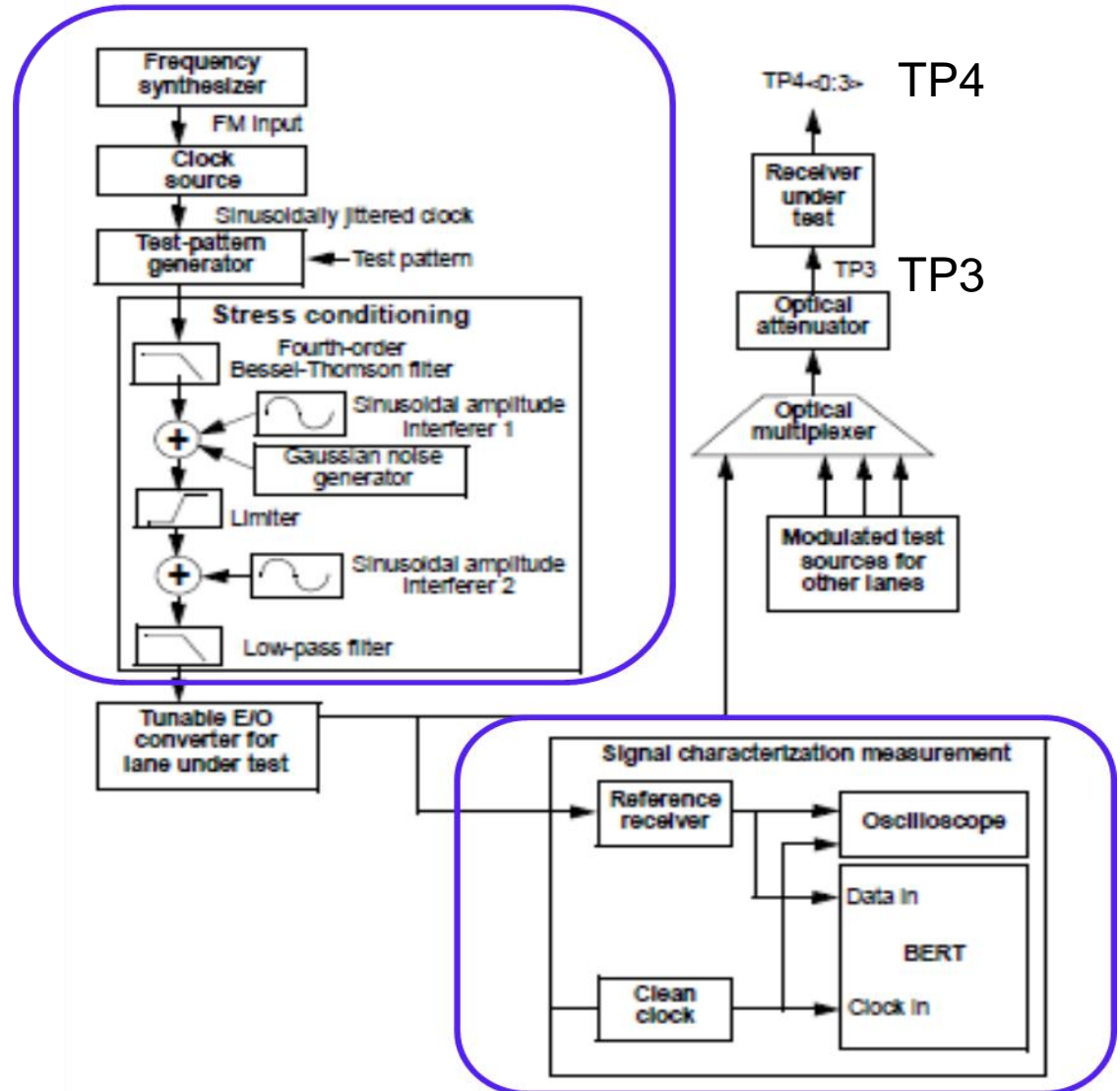
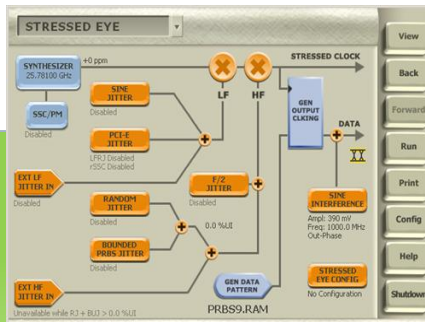


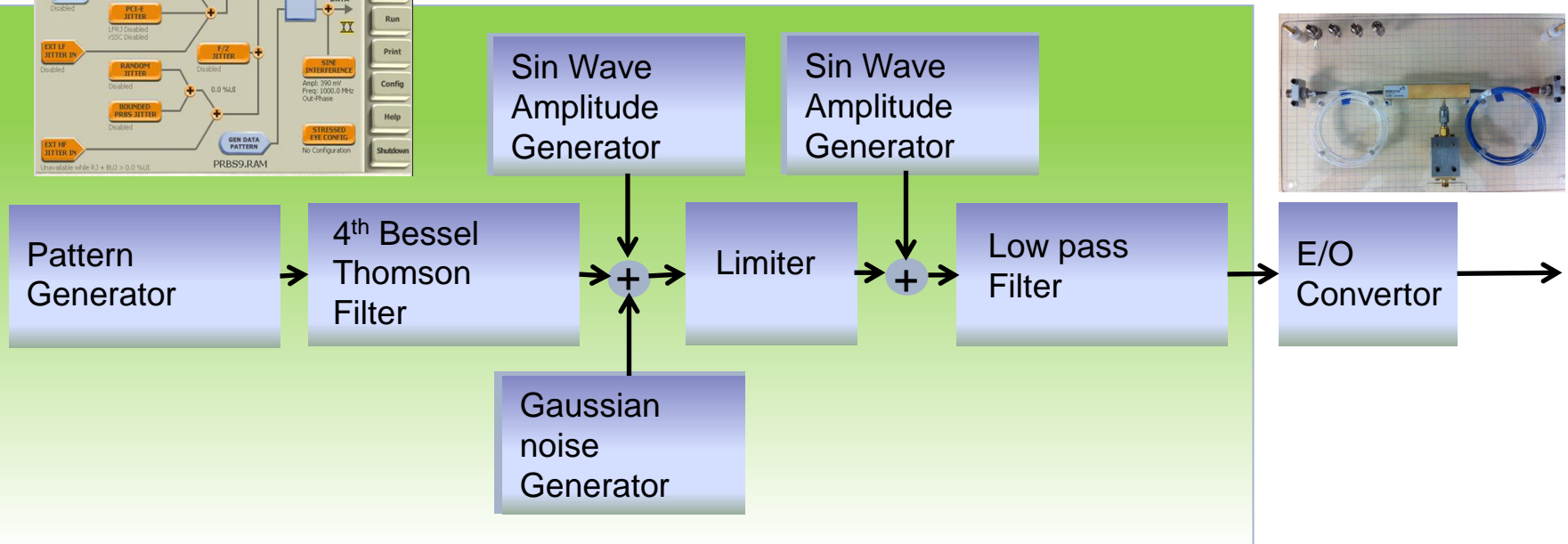
Figure 87-3—Stressed receiver conformance test block diagram

Stressed receiver sensitivity

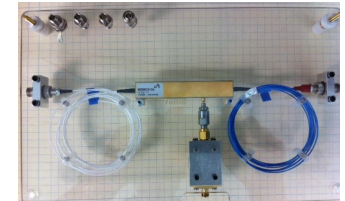
- Stressed Generator
 - PRBS31データパターンを出力
 - SIN変調周波数、Amplitudeが可変ができる仕様
 - 同期クロックにもDataと同じ変調がかけられる仕様
 - VECPを悪化させるためのLNバイアス回路



Stressed Block



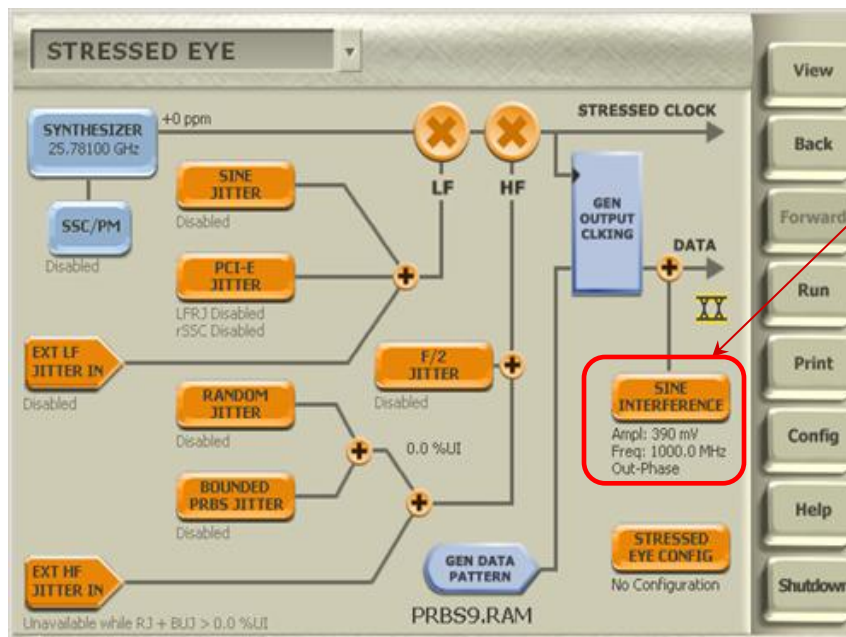
光源 + LN変調器



Stressed receiver sensitivity

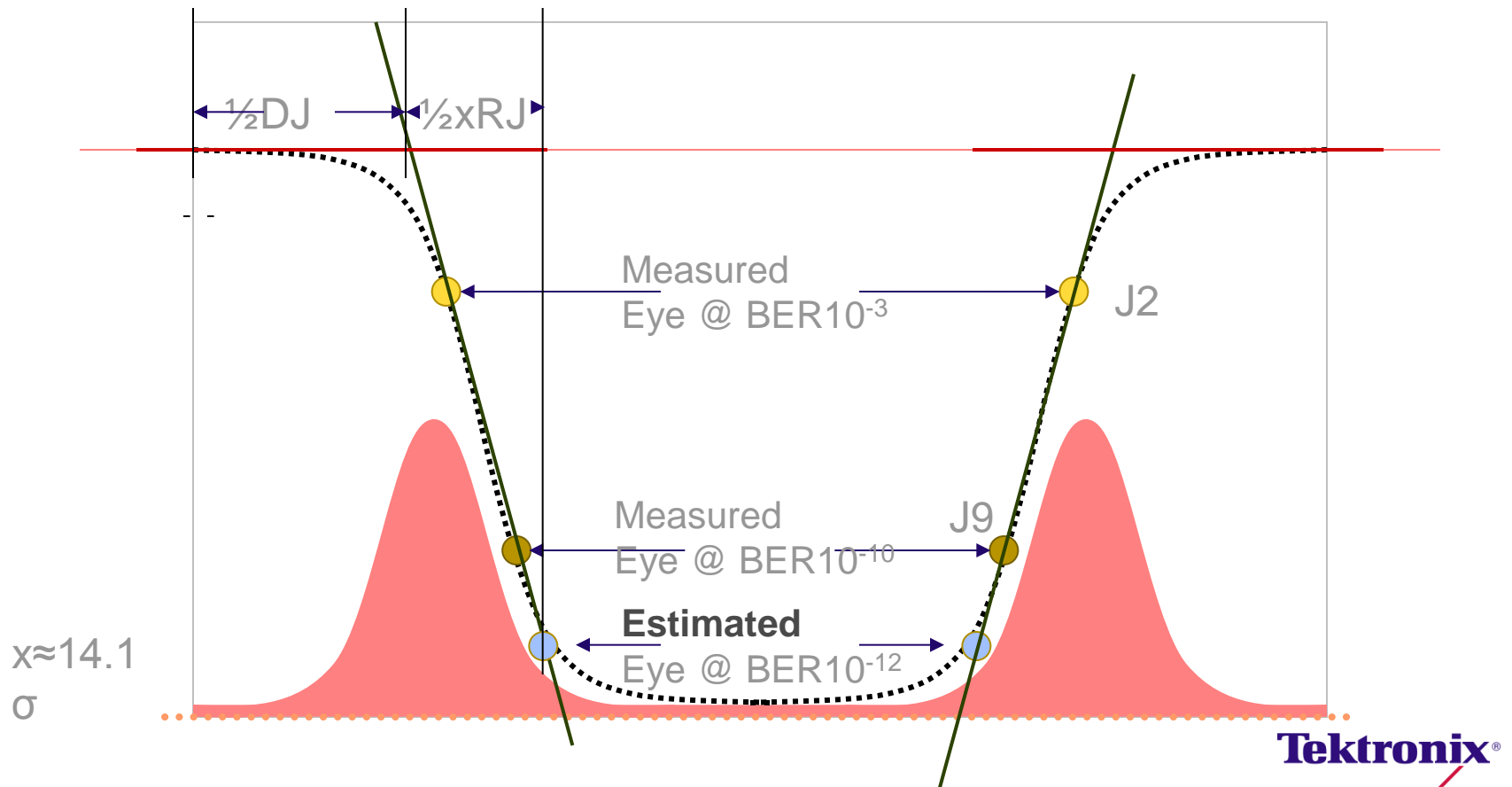
■ Stressed Generate Measurement

- 所定のデータレートにて光信号を出力し、ストレスOffの状態
VECPが1.8dB~3.5dBになるように設定
- receive characteristicsに規定する $J2=0.3UI$ 、 $J9=0.45UI$ になるように
Sin Wave Amplitude Generator, Gaussian Noise Generator を調整
- Sin Waveの周波数は $f < 100\text{KHz}$, $100\text{kHz} < f < 10\text{MHz}$, $10\text{MHz} < f < 10\text{LB}$ の3区分
- TP3にて $BER=10^{-12}$ であること
- OMAを測定測定値が $= -6.8\text{dBm} \sim -17.9\text{dBm}$ であること



J2、J9ジッタ測定

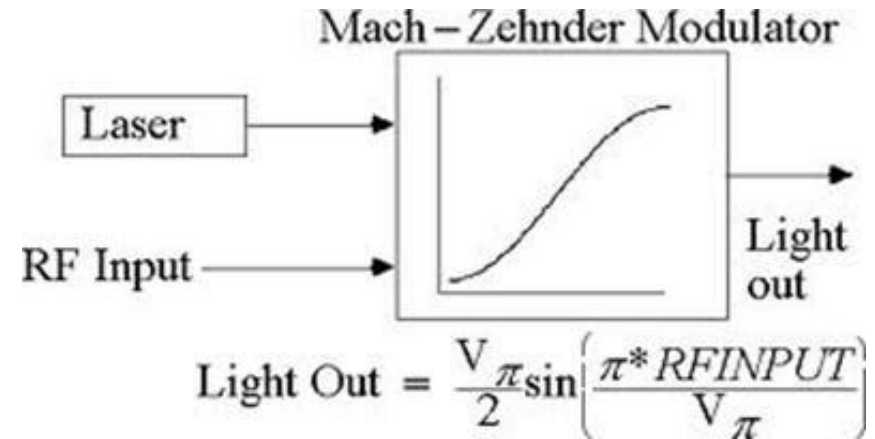
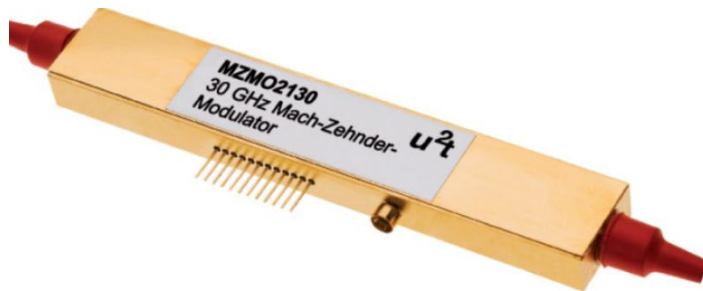
- PRBS31段にて測定する
- $J2 = \text{BER}$ が 2.5×10^{-3} に相当するTJ値
- $J9 = \text{BER}$ が 2.5×10^{-10} 相当するTJ値を求める。J2は $0.35UI$ に相当、J9は $0.47UI$ に相当
- ヒストグラム波形統計サンプル数は最低10000ポイントの累積が必要



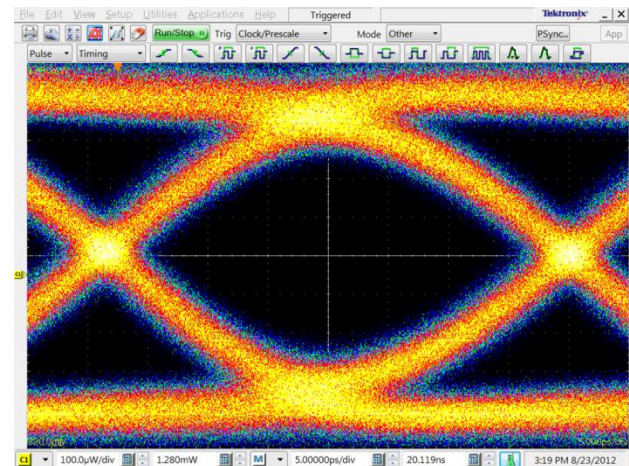
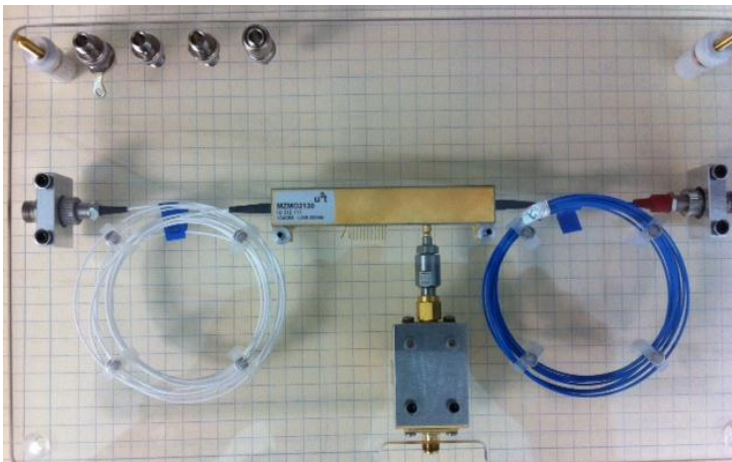
Stressed receiver sensitivity

■ 光変調器

- 変調度と制御電圧との特性を要求
- VECPも同時に変調するため VECPを測定しながら設定する
- シンメトリを維持したストレス変調



Sample : Mach-Zehnder modulator



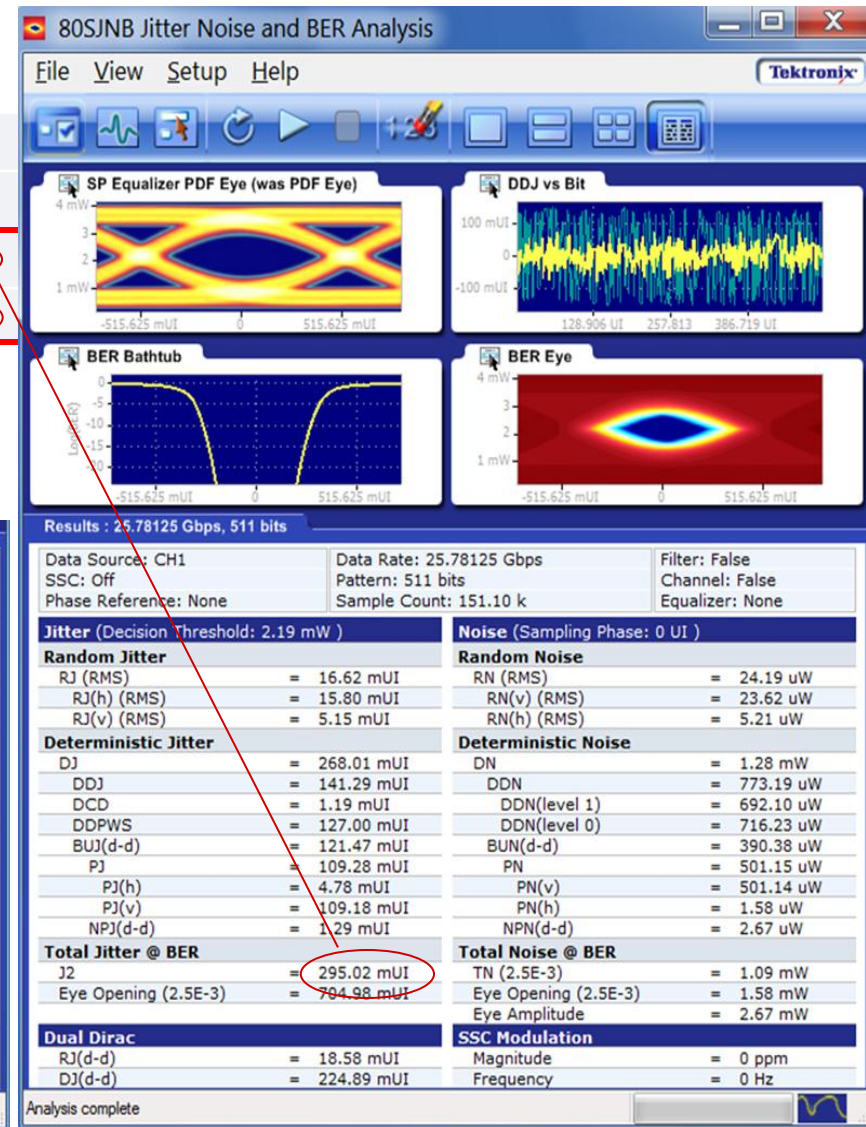
Receiver measurements

Stressed receiver sensitivity

目標は、802.3baの表88-8から、2010のスペックを評価します。

強勢のあるレシーバ感受性テストの状況

垂直目閉鎖刑、各々の通路	1.8
強勢のある目J2ジッター、各々の通路	0.3
強勢のある目J9ジッター、各々の通路	0.47



Analysis complete

Analysis complete

測定系仕様

TX Measurement – System Bandwidth

- TX測定系の周波数帯域幅
 - 波形のキャラクタライズには基本波の5次高調波に対応した帯域幅を有することが望ましい

Standard	Bit Rate (Gb/s)	Required Bandwidth (3 rd harmonic)	Desired Bandwidth (5 th harmonic)
16G Fibre Channel	14.025	21 GHz	35 GHz
PCIe4.0	16.00	24 GHz	40 GHz
100GBASE-R4	25.781	39 GHz	64 GHz
SONET OTU-4 (CEI-28G-SR)	27.975	42 GHz	70 GHz
40GBASE-FR	41.25	62 GHz	103 GHz

TX RX Measurement – Instrumentation Jitter

- TX

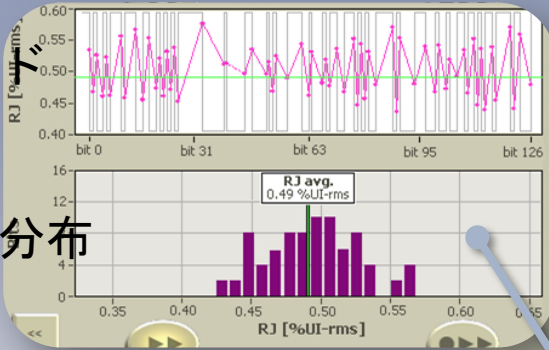
Standard	Bit Rate (Gb/s)	Unit Interval	Random Jitter (5% @BER=10 ⁻¹²)
16G Fibre Channel	14.025	71 psec	250 fsec
PCIe4.0	16.0	63 psec	225 fsec
100GBASE-R4	25.781	39 psec	140 fsec
SONET OTU-4 (CEI-28G-SR)	27.975	36 psec	129 fsec
40GBASE-FR	41.25	24 psec	86 fsec

- Rx

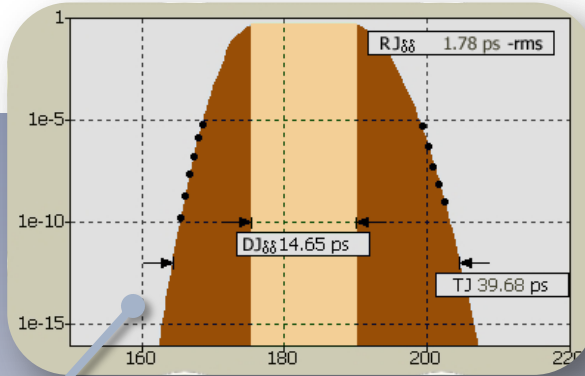
Standard	Bit Rate (Gb/s)	Unit Interval	Rx Random Jitter (min RMS)
12G SAS-3	12.0	83 psec	803 fsec
16G Fibre Channel	14.025	71 psec	710 fsec
PCIe4.0	16.0	63 psec	630 fsec
100GBASE-R4	25.781	39 psec	362 fsec
SONET OTU-4 (CEI-28G-SR)	27.975	36 psec	334 fsec
32G Fibre Channel	28.05	35 psec	356 fsec

Measuring equipment Jitter解析機能

RJトレンド

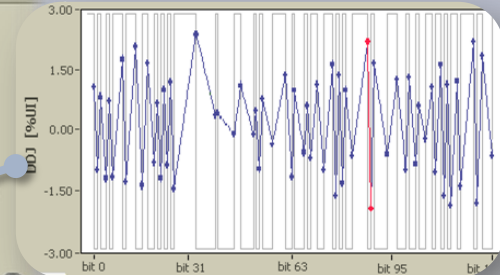
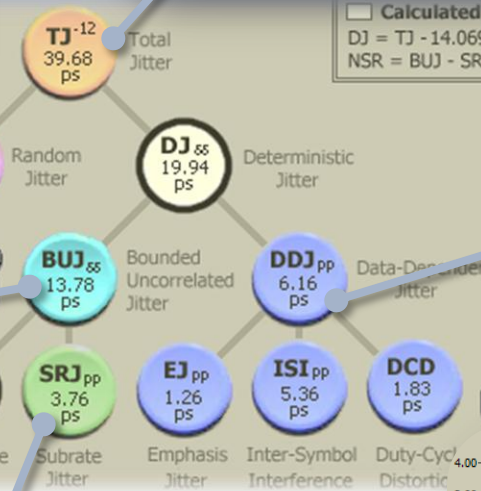


RJヒスト分布

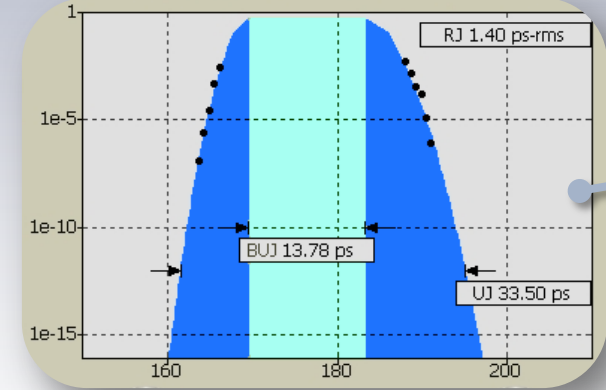


Total Jitter

Calculated Value
 $DJ = TJ - 14.069 * RJ$
 $NSR = BUJ - SRJ$

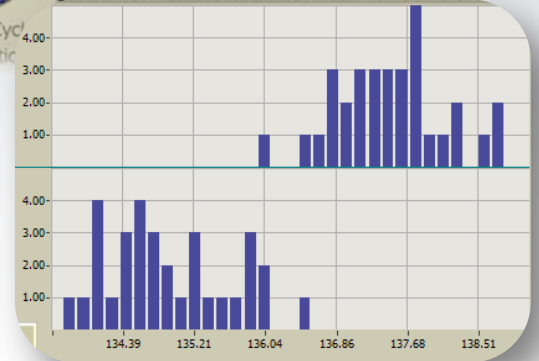
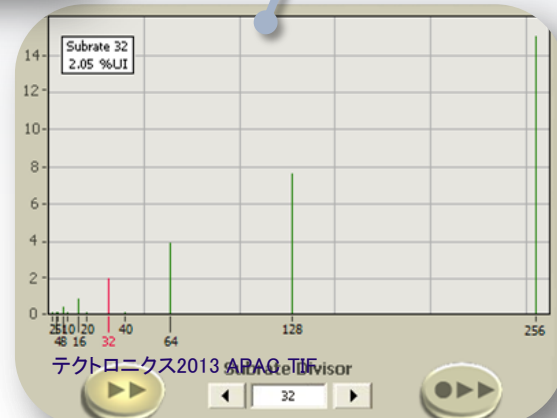


DDJトレンド



BUJ

サブレートJitter分布



Measuring equipment

IEEE802.3ba測定器の特徴

- BERT測定器は、J2/J9ジッタを同時に測定することができるために、350fSecという低い測定器自身の固有のRjに抑えることができます
- ストレスド条件であるVECP 1.8dBを測定するためにサンプリング・オシロスコープにおけるVECP測定は低雑音でなければなりません
電気・光信号における低雑音測定が要求されます
- 1台のサンプリング・オシロスコープにて光信号、電気信号を同時に複数チャンネルを高帯域測定することができる。
- ストレスド試験にはLoop-Band Width設定が可能なCRUユニットが必要になります



DSA8300型サンプリングオシロスコープ
80C10C型光サンプリングモジュール
82AO4型リファレンスモジュール

BSA286C型 BERT-SCOPE
CR286A型 クロックリカバリ

100G Testing Solutions

Tektronix 100G Portfolio



- ▶ DSA8300 Sampling Oscilloscope with New 82A04B
 - ▶ >70GHz Bandwidth
 - ▶ <100 fsec jitter noise
 - ▶ Pass/Fail at high throughput
 - ▶ BUJ-Based Jitter Analysis



New



- ▶ BSA286C Bit Error Rate Tester
 - ▶ Very Low intrinsic jitter
 - ▶ Error location & Jitter Analysis
- ▶ PPG3000 and PED3000 Generator & Error Detector
 - ▶ Multi channel Testing (1, 2, 4 ch)
 - ▶ 32Gb/s Maximum bit rate



New

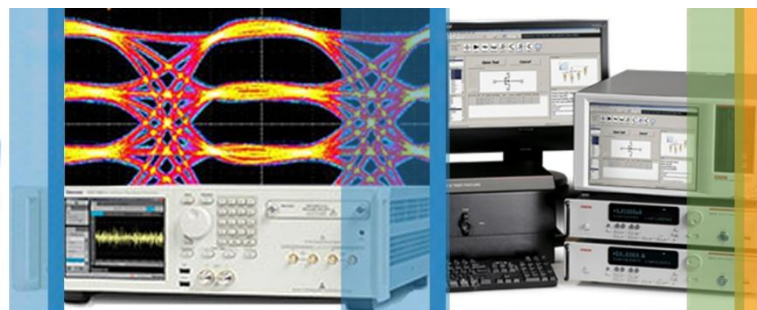


- ▶ OM4000 Coherent Lightwave Analyzer
 - ▶ DP-QPSK Analysis
 - ▶ Constellation Mapping to BER
 - ▶ Works with RT or ET Scopes



Thank you for your time today.

テクトロニクス／ケースレー
イノベーション・フォーラム 2013



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

www.tektronix.com/ja

 **Twitter**

[@tektronix_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)

 **Facebook**

<http://www.facebook.com/tektronix.jp>

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company