/inritsu

Active Optical Cable (AOC) 評価

InfiniBand[™] 56G-IB-FDR (14Gbit/s x4) QSFP+ ケーブルコンプライアンステスト

MP1800A シリーズ シグナルクオリティアナライザ

目次

1.	はじめに	2
2.	高速電気インターフェース規格	3
3.	測定実施方法	9
4.	まとめ	24
付錡	₹	24
参考	昏文献	24

1. はじめに

半導体プロセスの微細化と CPU のマルチコア化によって、コンピュータの計算性能は飛躍的 に高まっています。スーパーコンピュータの処理能力は、この 20 年で 100,000 倍に高まりまし た。一方で、計算データは膨大となり、並列システムを構築する為の通信処理がボトルネックと なる事が懸念され、従来用いられてきた Gigabit Ethernet に代わる、高効率の通信方式が求 められています。

InfiniBand[™]は、スーパーコンピュータなどの HPC (High Performance Computing)分野で使われているインターコネクト規格の一つです。2012 年 11 月現在、Top500 (www.top500.org) に記載されている高性能コンピュータのうち、45%が InfiniBand を採用しています。レイテンシが低く、低コストであることを特長としており、データセンタのサーバ間接続用途でも関心が高まっています。InfiniBand の通信方式には、ファイバーチャネル、PCI Express、Serial ATA 等と同様に、双方向のシリアル伝送方式を採用しており、複数のチャネルを束ねる事で広帯域化を実現する事ができます。

今日、Active Optical Cable (AOC)で、特に QSFP+モジュールを使用した並列マルチレーンを 使用したものは、InfiniBand などの高速インターコネクトにとって重要なデバイスの 1 つです。 信頼のおけるデータ転送や接続互換性を保証するためには正確な試験が必要です。本資料で は、4 つの 14 Gbps 並列レーンからなる 56G-IB-FDRT 用 QSFP+タイプ AOC の評価方法を 説明します。第 2 章では、InfiniBand で規定されている高速電気インターフェース規格の概要、 第 3 章では、アンリツ MP1800A Signal Quality Analyzer など、実際の測定機器を用いた測 定方法を解説します。



図 1-1 スーパーコンピュータの処理能力, Source: Top 500



☑ 1-2 QSFP+ Active Optical Cable (AOC)

2. 高速電気インターフェース規格

InfiniBand 規格を策定している IBTA(InfiniBand Trade Association) では、シリアル伝送速度 毎に、SDR(Single Data Rate, 2.5G), DDR(Double Data Rate, 5G), QDR(Quad Data Rate, 10G), FDR (Fast Data Rate, 14G), EDR (Enhanced Data Rate, 26G)のクラス分けをしてい ます。そして、それぞれのデータレートにおいて、4ch 並列伝送、12ch 並列伝送の規格を設け ています。2012 年 11 月にリリースされた InfiniBand Architecture Specification Volume2 Release 1.3^[1] (以下, InfiniBand AS V2R1.3と略します)では、FDR(14G)で 4ch 並列伝送を 採用する 56G-IB-FDR 仕様が正式に規定されました。

							,	
InfiniBand rate	Per-lane signaling	Unit Interval (UI) or bit	Codec	Aggregat	te full duplex the Link D	roughput, GB/s (GBytes/sec) Designator		
designator rate, GBd period,		period, ps		4X interface		12X interface		
SDR	2.5	400	8b/10b	(1+1) GB/s	10G-IB-SDR	(3+3) GB/s	30G-IB-SDR	
DDR	5.0	200	8b/10b	(2+2) GB/s	20G-IB-DDR	(6+6) GB/s	60G-IB-DDR	
QDR	10.0	100	8b/10b	(4+4) GB/s	40G-IB-QDR	(12+12) GB/s	120G-IB-QDR	
FDR	14.0625	71.1111	64b/66b	(6.8+6.8) GB/s	56G-IB-FDR	(20.4+20.4) GB/s	168G-IB-FDR	
EDR	25.78125	38.7878	64b/66b	(10+10) GB/s	104G-IB-EDR	(30+30) GB/s	312G-IB-EDR	

表 2-1 InfiniBand link data rates (Table 39 in InfiniBand AS V2R1.3 Vol2 Chapter6)

AOC の電気インターフェースは、InfiniBand AS V2R1.3 Vol2 Chapter6 において、2 つの Link End Node 間を接続するケーブルの高速電気インターフェースとして規定されています。Link End Node とは、例えば、Server に搭載される HCA(Host Cable Adapter)や Switch、Router などの InfiniBand Interface を指します。図 2-1 に接続の概念図を示します。InfiniBand の高 速電気インターフェースには幾つかの種類が定義されていますが、AOC は Full Limiting Active Cables、つまり、ケーブル両端の入出力部にそれぞれリミッティング・アンプ及びリピー タ回路が内蔵されたタイプの一種とされています。



Separable electrical connector Ø 2-1 High-level topology block diagram (Fig.59 in InfiniBand AS V2R1.3 Vol2 Chapter6)

Cable の高速電気インターフェースの規格は、大きく2つに分かれています。すなわち、

(1) Cable Input Electrical Specifications

(2) Cable Output Electrical Specifications

の2つです。Cable は, (1) で規定される信号が入力されたときに, (2)の出力規格を満足する必要があります。

実際の Cable 評価には、上記規格に合わせて、大きく分けて2つのステップがあります。すなわち、

- (1) Input Calibration Step : ケーブルに入力するストレス信号を生成・確認する
- (2) Output Measurement Step: 生成したストレス信号をケーブルに入力し, ケーブル が出力する信号品質を評価する

の2つのステップです。以下に、それぞれの概要とターゲットスペックを記載します。

(1) Cable Input Electrical Specifications

表 2-2 に, Cable Input Electrical Specifications を示します。Cable を評価する際には, この規格値をターゲットに, ストレス信号を生成するキャリブレーションを行います。

Symbol	Parameter	Specification value(s)		Unit	Conditions		
X1, X2	eye mask parameter, time; see <u>Figure 72 on page 240</u>	0.11, 0.31		0.11, 0.31		UI	At TP6a, at FDR and higher data rates
Y1, Y2	eye mask parameter, voltage	95, 350		m∨	Hit ratio=5x10 ⁻⁵		
	Crosstalk signal ∀pk-pk	+/- 20% (See Conditions)		m∨	At TP6a.		
	Crosstalk signal transition time, 20%-80%	24		ps	Co-propagating aggressors. Crosstalk signal Vpk-pk to match lane under test, to within +/- 20%.		
	Crosstalk calibration signal Vpk-pk, each aggressor	450		ion signal 450 gressor		m∨	At TP7a. Counter-propagating aggressors. Apply during crosstalk
	Crosstalk calibration signal transition time, 20%-80%	17		ps			
Symbol	Parameter	Max	Min	Unit	Conditions		
-							
	Single-ended Input Voltage	4	-0.3	V	At IP6a		
V _{CM}	AC common mode input voltage tolerance (RMS)	20		m∨	At TP6a		
DDPWS	Data Dependent Pulse Width Shrinkage	0.11		UI	At TP6a		
J2	J2 Jitter tolerance	0.19		UI	At TP6a		
J9	J9 Jitter tolerance	0.34		UI	At TP6a		
S _{DD11}	Differential input return loss	Eq. 1 on page 251		dB	50 MHz to 14.1 GHz at TP5a		
S _{CC11}	Common mode input return loss	-2		dB	200 MHz to 14.1 GHz at TP5a		
S _{DC11}	Common mode to differential reflection	Eq. 2 on page 251		dB	50 MHz to 14.1 GHz at TP5a		

表 2-2	FDR	limitin	g active	e cable	input e	electrica	al sp	ecifica	ations
(Table	72 in	InfiniBa	and AS	V2R1.	3 Vol2	Cha	pter6,)

a. Please refer to CIWG Method of Implementation (MOI) document Active Time Domain Testing for detailed specification of testing methodology and parameters.



2-2 Input Eye Mask (Fig.72 in InfiniBand AS V2R1.3 Vol2 Chapter6)

ストレス信号のキャリブレーションは、図 2-3 に示すとおり、Pulse Pattern Generator (PPG)と、オシロスコープを用いて行います。MCB(Module Compliance Board)と HCB(Host Compliance Board)を QSFP インターフェースコネクタで直接接続し、測定器 とはそれぞれのボードに用意されている SMA コネクタで接続します。 PPG の出力データ振幅、ジッタ量を調整して、規定された EYE マスク及びジッタ量に沿っ た波形を形成します。このテスト信号は、クロストークの影響を受ける Victim 信号と呼ば れます^[3]。

また、入力信号の Data Dependent Pulse Width Shrinkage (DDPWS)^[2]を補正するには、 エンファシステクノロジーが必須です。DDPWS は、キャリブレーションにより特定の範囲内 に調整することが必要とされます。J2、J9^[2] ジッタ振幅が目標値になるように、ジッタが Victim 信号に印加されます。EYE 振幅は、EYE オープニングが事前に決定されている EYE マスクになるよう、調整されます。



図 2-3 Input Calibration の概念図

56G-IB-FDR 用ケーブルでは、4ch 双方向、つまり8本の信号が伝送されます。従って、 マルチレーンケーブルの試験には、Inter-Symbol Interference (ISI)^[2], クロストークの影 響を評価するために、1本の Victim 信号と7本の Aggressor 信号が必要です。 Aggressor 信号は Far End Crosstalk (FEXT)及び Near End Crosstalk (NEXT)に分か れており、それぞれの Bitrate、EYE Amplitude 等、細則は The IBTA Compliance and Interoperability Working Group (CIWG)が作成する Method of Implementation (MOI) に規定されています。

オシロスコープには, 17GHz 以上のアナログ帯域と, マスクテスト機能, ジッタ解析機能が 求められます。

(2) Cable Electrical Output Specifications

表 2-3 に, Cable Output Electrical specifications を示します。Cable を評価する際には, キャリブレーションステップで生成したストレス波形を, DUT (Device Under Test)である QSFP Cable に入力し, DUT の出力波形を観測します。

	<u> </u>			<u> </u>			
Symbol	Parameter	Specification value	e(s)	Unit	Conditions		
х	eye mask parameter, time	0.30		UI	Hit ratio=5E-5 with		
Y1, Y2	Diff. unsigned output voltage range 0 (required) range 1 (optional) range 2 (optional)	50, 225 100, 350 150, 450		50, 225 100, 350 150, 450		m∨	(Note ^a)
	Crosstalk signal ∨pk-pk, each aggres- sor	700		m∨	At TP6a. Counter-propagating aggres-		
	Crosstalk signal transition time, 20%-80%	24		ps	sors."		
Symbol	Parameter	Max	Min	Unit	Conditions		
Vout	Single-ended output voltage	4.0	-0.3	V	Referred to Signal Ground; measured at TP7a		
V _{CM}	AC common mode output voltage (RMS)	20		m∨	at TP7a		
	Termination mismatch	5		%	1 MHz; at TP7a		
S _{DD22}	Differential output return loss	Eq. 1 on page 251		dB	50 MHz to 15 GHz at TP7a		
S _{CC22}	Common mode output return loss	-2		dB	200 MHz to 15 GHz at TP7a		
S _{DC22}	Common mode to differential reflection	Eq. 2 on page 251		dB	50 MHz to 15 GHz at TP7a		
S _{DC22} t _r , t _f	Common mode to differential reflection Output transition time	<u>Eq. 2 on page 251</u>	17	dB ps	50 MHz to 15 GHz at TP7a 20-80%		
S _{DC22} t _r , t _f J2	Common mode to differential reflection Output transition time J2 Jitter	Eq. 2 on page 251	17	dB ps UI	50 MHz to 15 GHz at TP7a 20-80% At TP7a		

表 2-3 FDR limiting active cable output electrical specifications (Table 73 in InfiniBand AS V2R1.3 Vol2 Chapter6)

a. Output range is set for QSFP+ interfaces using page 03, addresses 238 & 239; see <u>Section 8.5</u>. For CXP interfaces, output range is set using Rx Addresses 62-67; see <u>Section 8.7.0.2</u>. b. Please refer to CIWG Method of Implementation (MOI) document Active Time Domain Testing for detailed specification of testing methodology and parameters.



2-4 Output Eye Mask (Fig.72 in InfiniBand AS V2R1.3 Vol2 Chapter6)

図 2-5 に示すとおり、QSFP Cable の出力信号は2つ目の MCB を経由してオシロスコー プに接続されます。ケーブル出力における EYE マスクテストは、ストレス印加状態の EYE 開口を測定することによって行われます。劣化した EYE 開口は、少なくとも、InfiniBand や CEI などの規格団体が定めるデータ伝送の許容値を満足する必要があります。



図 2-5 Output Measurement の概念図

3. 測定実施方法

ここでは、アンリツの MP1800A Signal Quality Analyzer など、実際の測定機器を用いた 測定手順を示します。

注) コンプライアンス測定手順の最新情報は、IBTA が発行する、「Active Cable Time-Domain Testing MOI」を参照してください。

3.1 測定機器構成と準備

56G-IB-FDR AOC 試験には以下の試験機器必要です。

- (1) Victim 信号用 BERT
 - 14.1Gbps Pulse Pattern Generator (PPG)
 - 14.1Gbps Error Detector : 必須ではありません
 - 14.1GHz synthesizer : Master clean Clock
 - Jitter Modulator: Random Jitter (RJ)及び Deterministic Jitter (DJ)の追加用。
 Aggressor 用にフルレートのクリーンクロック出力が必要
- (2) Victim 信号用エンファシスボックス
 - •14.1G エンファシス信号発生器
- (3) Aggressor 信号用 BERT
 - 14.1Gbps PPG2 台(Aggressor 用): Divider Network により7 チャネルの Aggressor 信号に分割。Divider Network 出力において差動 700mVpp (シング ルエンド 350mV)が必要。
 - 14.1GHz シンセサイザ:マスタークリーンクロック。このクロックは、Victim のシンセサイザと同期されません。
- (4) EYE パターン解析用オシロスコープ
 - ・14.1Gbps Oscilloscope:帯域幅は 17GHz 以上
- (5) アクセサリー
 - モジュールコンプライアンステストボード^[1]2個
 - ・ホストコンプライアンステストボード^[1]
 - ・電力分配器 12 個: 2 台の PPG から 7 つの差動 Aggressor 信号を生成します。
 十分な帯域のある、Kコネクタタイプを用います。
 - ・Aggressor 信号用のフェーズマッチ SMA (または K)ケーブル 16本

Victim 信号および Aggressor 信号の BERT として、アンリツのシグナルクオリティアナ ライザ MP1800A シリーズを推奨します。推奨される構成は次のとおりです。

MP18	MP1800A (with option 015)					
Slot	Model Name	Model Number	Option number			
1	Synthesizer	MU181000A/B				
2						
3	14.1G PPG	MU181020B	002, 005,			
4	14.1G ED	MU181040B	002, 005, 030			
5	Jitter Modulation	MU181500B				
6	Source					

表 3-1 Victim Signal 用推奨 BERT 構成

Note: MU181000B は 4 ポートの clock output があります

表 3-2	Victim Signal	用推奨 Emp	ohasis <i>構成</i>

Madal Nama	Madal Niumahan	Ontion number
Model Name	Nodel Number	Option number
4 Tap Emphasis (14.1G)	MP1825B	001, 005
4 Tap Emphasis (28,1G)		002

Note: 14.1G および 28.1G のいずれも使用可能です。

表 3-3 Aggressors Signal 用推奨 BERT 構成

MP18	800A (with option 015)		
Slot	Model Name	Model Number	Option number
1	PPG	MU181020B	002, 005, 013
2	PPG	MU181020B	002, 005, 013
3	Synthesizer	MU181000A/B	
4]		
3-6	Not used		

Note: シンセサイザの出力クロックを 7GHz から 14GHz に逓倍するため、下 記のアクセサリが必要です。

- P0047A Frequency Doubler

- Z1340A 13GHz Band Pass Filter (BPF)

3.2 試験手順

2 章で述べたとおり, 実際の Cable 評価は, 以下のように Input Calibration Step, Output Measurement Step の順に行われます。各ステップで, 接続系が異なりますので注意してく ださい。

Step 1 : Input Calibration

Step 1-1 : Victim and Co-Propagating Crosstalk (FEXT) Calibration

- Co-Propagating Input Aggressors calibration
- Counter-Propagating Output Aggressors calibration
- Victim calibration

Step 1-2 : Counter-Propagating (NEXT) Calibration

Counter-Propagating Input Aggressors calibration

Step 2 : Output Measurement

Step 1: Input Calibration

■ Step 1-1: Victim and Co-Propagating Crosstalk (FEXT) Calibration

図 3-1 に、Victim and Co-Propagating Crosstalk(FEXT) Calibration 時のブロックダ イアグラムを示します。MCBとHCBを直結し、Victim 信号の Calibration だけでなく、 FEXT (Far End Crosstalk) Aggressor 信号及び NEXT (Near End Crosstalk) Aggressor 信号の 3 信号の Calibration を行います。

この Step では, Counter-Propagating (NEXT) <u>Output</u> Aggressors の Calibration が 行われますが、後述する Step 1-2:Counter-Propagating (NEXT) Calibration でも, HCB, MCB の接続を組み替えて, Counter-Propagating (NEXT) <u>Input</u> Aggressors Calibration が行われます。

Counter Propagating Crosstalk (NEXT) 用の PPG には, Bitrate 14G が設定される 事に注意してください。



Figure 2: ATD Victim and FEXT Calibration

2 3-1 Victim and Co-Propagating Crosstalk (FEXT) Calibration Block Diagram

注) コンプライアンス測定手順の最新情報は、IBTA が発行する、「Active Cable Time-Domain Testing MOI」を参照してください。

- (1) Victim 信号の配線及び接続 (図 3-2 参照)
 - a. 30cm の同軸ケーブル(J1349A)で、内蔵シンセサイザ(MU181000A/B)の Clock Output とジッタモジュレーションソース(MU181500B)の External Clock Input を接続します。
 - b. 30cmの同軸ケーブル(J1349A)で、内蔵シンセサイザ(MU181000A/B)の Clock Output とジッタモジュレーションソース(MU181500B)の Aux Input を接続します。シンセサイザが MU181000A の場合、Clock を Power Divider で分岐し、a. で記載したジッタモジュレーションソースの External Clock Input と、Aux Input に接続してください。
 - c. 30cm の同軸ケーブル(J1349A)で、ジッタモジュレーションソース (MU181500B)の Jittered Clock Output と 14G PPG (MP1800A_ Frame_B の MU181020B)の External Clock Input を接続します。
 - d. Victim PPG とエンファシスボックス(MP1825B)を2本のフェーズマッチケ ーブルで接続します。1本は PPG(MU181020B)の Data Output からエン ファシスボックス(MP1825B)の Data Input に接続します。2本目は PPG (MU181020B)の Clock Output からエンファシスボックス(MP1825B)の Clock Input に接続します。
 - e. エンファシスボックス(MP1825B)の Data Output と MCB の Tx4-Victim Input を 2 本のフェーズマッチケーブルで接続します。
- (2) 7 個の Aggressor の配線及び接続 (図 3-2 参照)
 - a. ジッタモジュレーションソース(MU181500B)の Reference Clock Output(1/1を選択してクロック出力 14.0625Gbps に設定)から FEXT Aggressor PPG (MP1800A_Frame_A の slot_1 の MU181020B)の External Clock Input にケーブルを接続します。
 - b. シンセサイザ(P0047A 周波数ダブラ及び Z1340A BPF を経由する MP1800A_Frame_A の MU181000A/B)の Clock Output から次の Aggressor PPG (MP1800A_Frame_A の slot_2 の MU181020B)の External Clock Input にケーブルを接続します。MU181000A/B シンセサ イザ、P0047 周波数ダブラ、及び Z1340A BPF の代わりに別の外部シン セサイザを使用することもできます。
 - c. 8 個の Aggressor を生成するために(8 番目の出力は使用しません)、2 つの PPG データおよびデータバーを Divider Network に接続します。
 - d. 7 対のフェーズマッチケーブルを使用して、7 個の Aggressor すべてを評価ボードに接続します。 Divider Network からの 8 つの出力のうち 1 つは使用せず、50 ohm の SMA 終端器を使用して終端させます(データとデータバーの両方)。

その他の接続については、図 3-1を参照して下さい。



図 3-2 MP1800A, MP1825B, Divider Network のケーブル接続

- (3) Victim 信号の初期設定
 - a. MP1800A の電源を ON にし、Main Application を選択(20 秒後に自動選択)。 画面左上のファイルを開き、 Initialize を選択。
 - b. Jitter モジュレーターソース設定
 - Jitter モジュレーターソースがインストールされた MP1800A_Frame_Bのスロットキーから6を選択
 - マスタークロック用に Internal synthesizer (MU181000A/B)を選
 択
 - クロック周波数を 14.0625GHz.に設定
 - Jitter クロック出力用に Pattern Generator Full-rate (MUX)を選 択
 - 全ての Jitter 設定が 0 であることを確認
 - ・ サブレートクロック出力を 1/8 (1.7578125GHz)に設定



図 3-3 MU181500B Jitter Modulation Source の GUI

- c. PPG 設定
 - PPG がインストールされた MP1800A_Frame_B のスロットキー から3を選択
 - データの出力振幅を 500mV に設定
 - オフセット(Vth)を0に設定
 - PRBS 31 データパターンを設定
 - MP1800A フロントパネルから OUTPUT ON を押す
 - Misc タブで、AUX 出力周波数分配率を 1/2 に設定

File View Help	
(1:41) 12.5Gbt/s ED C 🔘 S 🔘 E 🔘 🕨 Start 🔳 Stop	[1:3:1]12.5Gbt/s PPG
Result Measurement Pattern Input Capture Misc Data Input Condition -Differential 1000hm Tracking Data Threshold 0.010 Tracking Termination	Output Pattern Error Addition Misc Output Data/XData ON Data/XData ON Data/XData ON Data/XData ON Data/XData ON Data Contput Data/XData ON Setup Data/XData ON Level Guard ON Setup Defined Interface Variable Variable Variable Amplitude 0.500 [±] / ₂ Vpp 0.500 [±] / ₂ Vpp Offset ACOFF 0.000 [±] / ₂ V 0.000 [±] / ₂ V External ATT Factor [±] / ₂ dB </th

File View Help	
[1:4:1] 12.5Gbit/s ED C 🕥 S 🕥 E 🕥 🕨 Start 🔳 Stop	[1:21]12.50bit/s PPG
Result Measurement Pattern Input Capture Misc	Output Pattern Error Addition Misc
Test Pattern PRBS ▼ Logic POS ▼ Bit Shift 1bit ▼ Length 2^31-1 bits Edit Mark Ratio 1/2 ▼	Test Pattern PRBS ▼ Logic POS ▼ -Bit Shift 1bit ▼ Length 2 ^{/31-1} ▼ bits Mark Ratio 1/2 ▼
Mask Block Window OFF Bit Window OFF External Mask OFF	

図 3-4 MU181020B PPG の GUI

- d. エンファシス設定
 - MP1825Bの電源を投入
 - MP1825B からの USB ケーブルを MP1800A_Frame_B の USB ポートの 1 つに接続。 MP1800A の USB ポートは、フロントパネ ルに 2 つ、背面パネルに 1 つあります。
 - MP1800A ディスプレイ画面の上部から MP1825B のアイコンを 選択
 - MP1800A GUI で Connect を選択し、MP1825B を MP1800A に 接続
 - 入力データおよびクロック間のスキュー調整のため、Auto Adjust を押す (MP1825Bの Clock Doubler 使用時のみ有効です。本ア プリケーションノートの接続例では、PPG- Emphasis Box 間にフ ェーズマッチケーブルを用いる為、スキュー調整は不要です。)
 - EYE の振幅を 400mV に設定
 - エンファシス機能を OFF に設定
 - Waveform Format を 1Post / 1Pre-cursor に設定
 - エンファシス出力を ON に設定

File View Help			🎍 🖽 🕾 🖪 🖉 🖀	
(USB6) 4Tap Emphasis				
CH2 Interface				
Output	ON V OFF 2Post/I Pre-cursor V AC OFF Unit1:Slot1:MU183021A Data1 V Adjust Adjust Setting	1 	× • • • • •	Cursor 1 00 ± dB 0.400 ∨ p.p Cursor 2 0.0 ± dB 0.400 ∨ p.p Cursor 3 0.0 ± dB 0.400 ∨ p.p
Delay C 0 mul Relative Jitter Input	C 0.00 ps 0 mUl OFF Calibration	¥ Eye Amplitude 0.400 ≝ V p-p Delay 0 ≝ mUl	Ideal Emphasis C DUT S-parameter Bit Rate Setting	OPEN Celculate
JSB Connected.				

図 3-5 MP1825B Emphasis Convertor の GUI

- (4) ループバック接続にエラーがないことの確認(オプション) システムが正しく機能するようにするため、PPGからエンファシスボックスを介して エラー検出器にループバック接続し、エラーが検出されないことを確認します。
 - a. エンファシスボックス(MP1825B)からエラー検出器(ED: MU181040B)に3本の ケーブルを接続
 - エンファシスボックス(MP1825B)の Output(データとデータバー)からエラー 検出器(MU181040B)の Data Input 及び Data-bar Input に 1 対のフェー ズマッチケーブルを接続
 - 3本目のケーブルは、エンファシスボックス(MP1825B)の Clock Buffere Output から ED (MU181040B)の Clock Input に接続
 - b. ED 設定
 - MP1800A_Frame_Bのフロントパネルで Data Output の緑色のランプが 点灯していることを確認。緑色のランプが点灯していない場合は、Data Output のキーを押す
 - ED がインストールされている MP1800A のスロットキーから4を選択
 - 入力の差動を 100 ohm に設定
 - PRBS 31 データパターンを設定
 - MP1800A の上部から Auto Adjust アイコンを選択し、ED (Auto Adjust ON) のボックスをチェック
 - ED でエラーが検出されないこと(ED で赤色のランプが点灯しないこと)を確認。エラーがある場合はトラブルシューティング(Appendix)を参照
 - c. エラー検出器からフェーズマッチケーブル(データおよびデータバー)を外し、 MCB の Tx4-Victim Input に接続

sult Mea	surement Pattern	Input Capi	ure Misc	1	Output Pa	attern Error A	ddition Misc	
Gating			Auto	Adjust	Output -	XI	1	Offset Vth
Cycle U Current L Calcu	ntimed Vin Ol lation Pro	it Time N gressive 💌	tten	Threshold&Pha	se 💌	Cancel		
Error/Ala Zoom	rm 💽 History Reset	INS	Slot	Selector Slot Slot4	ED	E	Setup Data Variable V 0.500 Vpp	XData Variable V
ER	0.0000E-11 0	0.0000E	-11				F 0.000 ≠ ∨ r 3 ≠ dB	0.000 ÷ V
EI	100.0000						0.354 Vpp	0.354 Vpp 0.000 V
Frequenc	y(kHz) 1000	0000 Clock	Coui				150.0 🗔 %	150.0 🖃 %
Clock Los Sync Los Error	ss						≓ mUIC 0.0	🚬 ps 🔳 Calibration
Data Thre XData Th	eshold	V Data	Delay	mUI		Relative		I

図 3-6 MU181040B ED の GUI

- (5) Co-Propagating Input Aggressor(FEXT)の設定
 - a. HCBの TP6a 差動出力からスコープに 1 対のフェーズマッチケーブルを接続(図 3-1 を参照)
 - b. ジッタモジュレーションソース(MP1800A_Frame_B の MU181500B)の Subrate Clock Output からスコープのトリガ入力にケーブルを接続
 - c. Aggressor の MP1800A_Frame_A を ON にし、Main Application を選択(20 秒後に自動選択)。MP1800A 画面左上部の File を開き、Initialize を選択
 - d. Aggressor の初期設定
 - ・ PPG がインストールされている MP1800A_Frame_A のスロットキーから 1 を選択
 - データ及びデータバーの出力振幅を 1.0V に設定
 - オフセット(Vth)をゼロに設定
 - PRBS 31 データパターンを設定
 - MP1800A フロントパネルから OUTPUT ON を押す
 - e. オシロスコープを使用して、HCB TP6a の出力で Aggressor 信号の 1 つの差動 EYE の振幅を測定
 - f. PPG の振幅を調整し、HCB TP6a 出力 220~250mVppmVpp (110~125mV シングルエンド)以下とする
 - g. 信号が測定されない場合は、50 ohm の SMA 終端器を使用して HCB TP6a の 出力でコネクタを終端させる(データとデータバーの両方)
- (6) Counter-Propagating Output Aggressor(NEXT)の設定
 - a. MCBの TP7a 差動出力からスコープに1対のフェーズマッチケーブルを接続 (図 3-1 を参照)
 - b. PPG (MP1800A_Frame_A の MU181020B)の AUX Output からスコープのト リガクロック入力にケーブルを接続
 - c. シンセサイザ設定
 - シンセサイザがインストールされている MP1800A_Frame_A のスロットキ ーから 4 を選択
 - クロック周波数を 7.000GHz に設定。このクロックは P0047A 周波数ダブラ によって 2 倍の 14.0GHz になります。MU181000A/B シンセサイザ、 P0047 周波数ダブラ、及び Z1340A BPF の代わりに別の外部シンセサイ ザを使うこともできます。
 - d. Aggressor の初期設定
 - PPG がインストールされている MP1800A_Frame_A のスロットキーから2
 を選択
 - データ及びデータバーの出力振幅を 1.8V に設定
 - オフセット(Vth)をゼロに設定
 - PRBS 31 データパターンを設定
 - MP1800A フロントパネルから OUTPUT ON を押す
 - Misc タブで、AUX 出力の周波数分配率を 1/8 に設定
 - e. オシロスコープを使用して、MCB TP7a の出力で Aggressor 信号の 1 つの差動 EYE の振幅を測定
 - f. PPG の振幅を調整し、MCB TP7a 出力 450mVpp (225mV シングルエンド)以 下とする
 - g. 信号が測定されない場合は、50 ohm の SMA 終端器を使用して MCB TP7a の 出力でコネクタを終端させる(データとデータバーの両方)

- (7) Victim 信号のキャリブレーション
 - a. MCBの TP6a TX4-Victim から1対のフェーズマッチケーブルを Scope に接続 (図 3-1 を参照)
 - b. ジッタモジュレーションソース(MP1800Aの MU181500B)の Sub-rate Clock Output からスコープのトリガクロック入力にケーブルを接続
 - c. PPG (MU181020B)で PRBS9 データパターンを設定
 - d. MP1825B のエンファシス機能を ON に設定
 - e. すべてのエンファシスをゼロに設定
 - f. スコープでデータの DDPWS(ジッタ注入なし)を測定し、DDPWS が仕様の範囲 内(InfiniBand FDR の場合 0.11UI 以下)であることを確認
 - g. DDPWS がターゲット仕様より大きい場合は、DDPWS が範囲内になるまで、最初のポストカーソルエンファシスの振幅を大きくする。必要に応じてプリカーソルの振幅を追加。最適なエンファシス設定を行うため、何度か切断と試行を行う必要がある。
 - h. PPG (MU181020B)で PRBS 31 データパターンを設定
 - i. バスタブジッタ測定を用いてスコープで J2/J9を測定
 - j. ターゲット J2 とスコープ(MA2100A)で測定した J2 の間の差分を求める
 - k. ジッタモジュレーションソース(MU181500B)で SJ1 を ON に設定
 - I. ジッタモジュレーションソース(MU181500B)の SJ1 の周波数を 100MHz に設定
 - m. 手順 j で計算した差分になるように、SJ1 のジッタ振幅を設定
 - n. スコープでもう一度 J2 を測定し、J2 が仕様の範囲内になるように SJ1 を調整 (InfiniBand FDR の場合、ターゲットは 0.19 UI)
 - o. スコープで J9 を測定し、ターゲット J9 とスコープで測定した J9 の間の差分を求める
 - p. ジッタモジュレーションソース(MU181500B)の RJを ON にする
 - q. RJ None のフィルタを選択
 - r. 手順 o で計算した差分になるように、RJ の振幅を設定
 - s. スコープでもう一度 J9 を測定し、J9 が仕様の範囲内になるようにジッタモジュレ ーションソースの RJ を調整(InfiniBand FDR の場合、ターゲットは 0.34 UI)
 - t. エンファシスボックス(MP1825B)のデータの振幅を調整。ターゲット波形は図 3-1 のとおり(Y1の振幅は差動 190mVpp)
 - u. もう一度 J2 及び J9 を測定し、SJ1 および RJ を調整
 - v. J2/J9、DDPWS、および出力 EYE(差動)を確認し、スコープで EYE マスクテスト を行う

Data Rate	14.0625Gbps							
UI	71.111ps							
Pattern	PRBS31							
X1	0.11UI	7.822ps						
X2	0.31UI	22.004ps						
Y1	95mV	190mVpp Swing						
Y2	350mV	700mVpp Swing						
J2	0.19UI	13.511ps						
J9	0.34UI	24.177ps						
DDPWS (PRBS9)	0.11UI (or less)	7.822ps (or less)						

Step 1-2 : Counter-Propagating (NEXT) Calibration

HCB, MCB の接続を組み替えて, Counter-Propagating (NEXT) <u>Input</u> Aggressors Calibration を行います。図 3-7 に Counter-Propagating (NEXT) Calibration 時の測 定ブロックダイアグラムを示します。



図 3-7 Counter-Propagating (NEXT) Calibration Block Diagram

注) コンプライアンス測定手順の最新情報は、IBTA が発行する、「Active Cable Time-Domain Testing MOI」を参照してください。

- (1) Counter-Propagating Input Aggressor(NEXT)の設定
 - a. HCB の TP6a 差動出力からスコープに 1 対のフェーズマッチケーブルを 接続(図 3-7 を参照)
 - b. PPG (MP1800A_Frame_A slot2 の MU181020B)の AUX 出力からスコ ープのトリガクロック入力にケーブルを接続
 - c. シンセサイザ設定(手順 1-1(6)と同じ)
 - ・ シンセサイザがインストールされている MP1800A_Frame_A のスロットキーから 4 を選択
 - クロック周波数を 7.000GHz に設定。このクロックは、P0047 周波数ダ ブラによって 2 倍の 14.0GHz になります。MU181000A/B シンセサイ ザ、P0047 周波数ダブラ、及び Z1340A BPF の代わりに別の外部シ ンセサイザを使うこともできます。
 - d. Aggressor の初期設定(手順 1-1(6)と同じ)
 - PPG がインストールされている MP1800A_Frame_A のスロットキー から2を選択
 - データ及びデータバーの出力振幅を 3.5V に設定
 - オフセット(Vth)をゼロに設定
 - PRBS 31 データパターンを設定
 - MP1800 フロントパネルから OUTPUT ON を押す
 - Misc タブで、AUX 出力の周波数分配率を 1/8 に設定
 - e. オシロスコープを使用して、HCB TP6a の出力で Aggressor 信号の 1 つ の差動 EYE の振幅を測定
 - f. PPG の振幅を調整し、HCB TP6a 出力 700mVpp (350mV シングルエン ド)以下とする。
 - g. 信号が測定されない場合は、50 ohm の SMA 終端器を使用して HCB TP6a の出力でコネクタを終端させる(データとデータバーの両方)。

Step 2: Output Measurement

Calibration Step で用いた二つの MCB 間に DUT を接続し, Active Cable の評価を 行います。図 3-8 に DUT Measurement 時の測定ブロックダイアグラムを示します。



Z 3-8 DUT Testing – Output Measurement Block Diagram

注) コンプライアンス測定手順の最新情報は、IBTA が発行する、「Active Cable Time-Domain Testing MOI」を参照してください。

- (1) DUT を接続します。
- (2) Connect a pair of phase match cables from TP7a RX4-Victim of the MCB-2 to the scope (図 3-8 を参照)
- (3) Victim PPG (MP1800A_Frame_B) 及び Emphasis Box (MP1825B) に対し, Step1-1 Calibration で決定したパラメータを設定し、出力を ON します。
- (4) Co-propagating Aggressor PPG (MU181020B on slot 1 of MP1800A_Frame_A) に対し、Step1-1 Calibration で決定したパラメータを設定し、出力を ON します。
- (5) Counter-propagating Aggressor PPG (MU181020B on slot 2 of MP1800A_Frame_A) に対し、Step1-2 Calibration で決定したパラメータを設定し、 出力を ON します。
- (6) Measure the output eye (differential) by a scope. Make eye mask test and jitter test.

4. まとめ

InfiniBand の最新規格, 56G-IB-FDR に対応した QSFP+タイプ AOC (Active Optical Cable) の評価方法を解説しました。4ch 双方向通信を安定的に実現するため, 各チャネル間のクロストークを考慮した評価が必要です。また, ストレス信号発生用の測定器には, 高精度な SJ・RJ ジッタ変調器, 低ジッタ・低ひずみの PPG, DDPWS を自在に調整する為の Emphasis コンバータを用いる必要があります。

MP1800A Signal Quality Analyzer は, PPG, ED, Jitter 変調源, Emphasis Convertor など, 多彩なラインナップで, InfiniBand や CEI などのシリアル通信規格で求められる高度な測定要 求に対応可能です。

付録

エラーが生じた場合のトラブルシューティング

- (1) MP1800Aの Output が ON であること(フロントパネルの緑色のランプが点灯していること)を確認してください。エンファシス出力及び PPG 出力が両方とも ON に設定されていることを確認してください。
- (2) PPG 及び ED のパターンを確認してください(PRBS パターンが同じである必要があり ます)。
- (3) ED の Auto Adjust が ON であることを確認してください。
- (4) フェーズマッチケーブルのペアの長さを確認してください(シングルエンドを試してください)。
- (5) ED のクロックが 14.0625G であることを確認してください。クロックが 14.0625G でない場合は、ケーブル接続を確認してください。

参考文献

- [1] InfiniBand Architecture Specification Volume2 Release 1.3, IBTA, 2012/Nov/6
- [2] ジッタ解析の基礎, アンリツ株式会社, アプリケーションノート No. MP2100A-J-F-3
- [3] 28 Gbit/s 高速ディジタル信号におけるシグナルインテグリティ解析,
- アンリツ株式会社, アプリケーションノート No. MP1800A-Signal_Integrity-J-F-1

InfiniBandTM is a trade mark of InfiniBand Trade Association.

<u>/inritsu</u>

お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

ア	ンリツ株式会社	tp://www.anritsu.co	om		
本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111			
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5				
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202	FAX 046-296-1239		
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208	FAX 046-296-1248		
	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1				
	ネットワークス営業本部	TEL 046-296-1205	FAX 046-225-8357		
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-14-1	新宿グリーンタワービ	ν		
	計測器営業本部	TEL 03-5320-3560	FAX 03-5320-3561		
	ネットワークス営業本部	TEL 03-5320-3552	FAX 03-5320-3570		
	東京支店(官公庁担当)	TEL 03-5320-3559	FAX 03-5320-3562		
仙台	〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6	-1 住友生命仙台中	央ビル		
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134	FAX 022-266-1529		
	ネットワークス営業本部東北支店	TEL 022-266-6132	FAX 022-266-1529		
名古屋 〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅3-20-1 サンシャイン名駅ビル					
	計測器営業本部	TEL 052-582-7283	FAX 052-569-1485		
大阪	〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-10	1 大同生命江坂ビル	1		
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800	FAX 06-6338-8118		
	ネットワークス営業本部関西支店	TEL 06-6338-2900	FAX 06-6338-3711		
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町1-10-1	19 日本生命光町ビル)		
	ネットワークス営業本部中国支店	TEL 082-263-8501	FAX 082-263-7306		
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8	-28 ツインスクェア			
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656	FAX 092-471-7699		
	ネットワークス営業本部九州支店	TEL 092-471-7655	FAX 092-471-7699		

計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

び TEL: 0120-827-221、FAX: 0120-542-425 受付時間/9: 00~12: 00、13: 00~17: 00、月~金曜日(当社休業日を除く) E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

1305

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合かあります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合かありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

2013-7 MG