

USB Type-C based Thunderbolt Generation 3 and USB 3.1 RX test solution

シグナル クオリティ アナライザ MP1800A シリーズ

目次

1 概要.....	2
2 試験の準備	2
3 Thunderbolt 試験.....	3
4 USB 試験	7
5 アンリツソリューション.....	11
6 参考文献	11

1 概要

本稿では、アンリツの Thunderbolt Generation3 および USB3.1 の Rx Test Solution と、その試験手順の概要、注意点等について記載します。

最近 USB Type-C というコネクタが実装されている PC や周辺機器が商品化されてきました。USB Type-C は、最新の USB 規格 USB3.1 で使用するために提案された新しい USB コネクタ規格で、USB-IF(USB Implementers Forum, Inc. <http://www.usb.org/home>)という USB 規格を作成している企業群が設立した非営利企業によって提唱されたものです。すでに、Apple 社 MacBook や Dell 社等の PC に実装されたものが発売されています。

このコネクタは、上下の区別がないためリバーシブルに使用することができ、Power Delivery という規格に対応していれば 100W までの電源を供給することができます。

USB3.1 は、Generation 1(以下 Gen1)が 5 Gbps, Generation 2 (以下 Gen2)が 10 Gbps の伝送容量ですが、USB Type-C の Alternative Mode で動作させることで、Thunderbolt (以下 TBT) Generation 3 (以下 Gen3)に対応できるようになります。TBT Gen3 は、伝送容量が 40 Gbps (20 Gbps x 2lanes)となり、USB3.1 Gen2 の 4 倍の伝送容量を実現します。

USB3.1 や TBT 実装機器は、規格に準拠していることを示すために、それぞれ USB Workshop, TBT PlugFest という四半期ごとに開催される検証イベントで、認証試験を受ける必要があります。アンリツは、USB, TBT どちらのイベントにも測定器ベンダとして参加し、機器検証に貢献しています。

また、シグナル クオリティ アナライザ MP1800A は、TBT Gen3 公式認証用測定器として Intel Corporation から業界初の認証を取得済みです。USB3.1 に関しても、2017 年に実施される WS-103 にて USB-IF から公式に認証取得予定です。

2 試験の準備

USB3.1, TBT Gen3 に準拠する機器として認証を得るためには、四半期ごとに実施されるイベントで認証を行うことが必要です。USB は USB-IF, TBT は Intel 主催で開催されます。

(<http://www.intel.com/content/www/us/en/io/thunderbolt/thunderbolt-technology-developer.html>)

また、TBT 規格に準拠した機器を開発する際は、事前に Intel Corporation との Technical License Agreement (以下 TLA)の締結が必要になります。

アンリツは、USB Type-C コネクタに実装される USB, TBT 両方に対応する Rx 耐力試験ソリューションを用意しています。また、GRL 社(<http://graniteriverlabs.com/anritsu-mp1800a/>)と共同開発した Rx 耐力試験に必要な試験信号の自動校正ソフトウェアも提供しています。

アンリツの USB 3.1, TBT Gen3 Solution は、接続を変更することなく試験対象の信号をソフトウェアだけで切り替えることができるのが特長です。USB3.1 と TBT Gen3 は、同一 Chip 内に実装されていることが多く、一度の接続で両方の高速インタフェースを試験可能となり、再接続の手間を省くことができます。

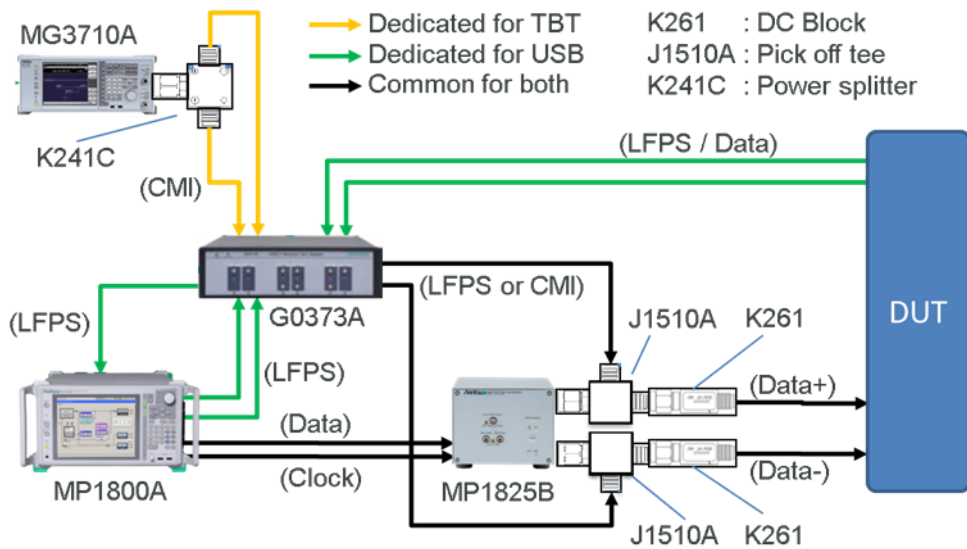


Fig. 2 USB 3.1 / TBT Gen3 Test System

3 Thunderbolt 試験

TBT では、ホストレーバ試験として、近端(TP2)と遠端(TP3EQ)の2点を試験することが規定されています。

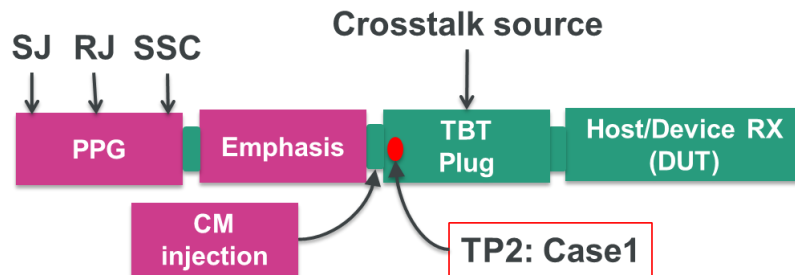


Fig.3.1 TBT near end test point (TP2)

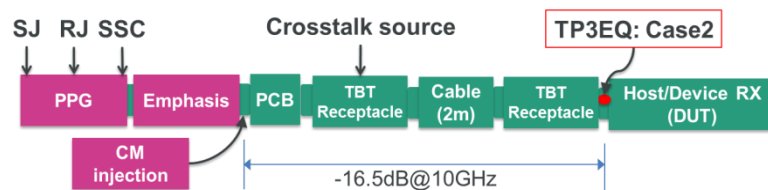


Fig. 3.2 TBT far end test point (TP3EQ)

TP2, TP3EQ どちらの測定点でも、測定機側からは正弦波ジッタ、ランダムジッタ、Spread Spectrum Clocking および Common Mode ノイズを印加することが規定されています。また、BER 測定時には、TBT の2つある双方向レーンの測定対象ではない側に、800 mV differential の分周クロック信号を入力し、Crosstalk Aggressor として使用します。

3.1 機器構成

TBT Gen3 試験に必要なブロック図と構成を以下に示します。

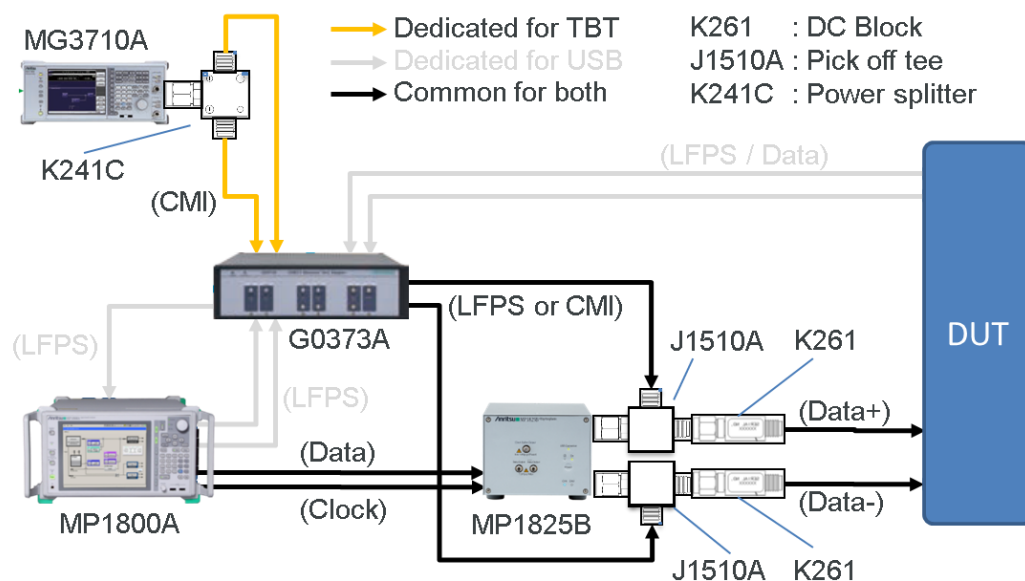


Fig. 3.3 TBT Test Block Diagram

上図ブロック上のグレーで記載した矢印は、USB の場合のみ必要となるもので、TBT として使用する際には不要です。

また、USB 試験の必要がなく、TBT 試験のみ必要ということであれば、G0373A も不要になります。その場合、MG3710A の K241C で分岐した後、直接 J1510A に接続することができます。

Table 3.1 TBT Test configuration

Model Number	Model Name	Options	Qty	Note
MP1800A	Signal Quality Analyzer	002, 007, 015, 032	1	Mainframe
MU181000B	4 port synthesizer	-	1	Synthesizer
MU181500B	Jitter generation module	-	1	Jitter source
MU183020A	28G/32G bit/s PPG	012, 030	1	PPG
MP1825B	4Tap Emphasis	002	1	Emphasis
MG3710A	Vector Signal Generator	002, 029, 032, 041	1	
G0373A	USB3.1 USB Test Receiver Adaptor		1	USB 試験時必要
GRL-TBT3-RX A	GRL Thunderbolt3 Receiver Calibration and Test Software		1	
J1510A	Pick Off Tee	-	2	
K261	DC Block	-	2	
K241C	Power Splitter	-	1	

J1551A	Skew matched 0.8m K	-	1	Emphasis to DUT for Data
J1550A	Skew matched 0.8m APC3.5	-	1	MG3710A to G0373A
J1624A	0.3m SMA	-	2	G0373A to J1510A
J1611A	1.3m K	-	1	PPG-Emphasis for Clock
J1439A	0.8m K	-	1	PPG-Emphasis for Data

3.2 波形校正と BER 測定

試験を始める前に、まず波形の校正を行います。詳細は、GRL-TBT3-RXA と同梱している MOI に記載がありますので、ここでは波形校正の概要を示します。校正は、前述した TP2 および TP3EQ のそれぞれで行います。

まず Emphasis を無効にした状態で、Eye の内側の振幅を差動で 700 mVp-p に設定します。

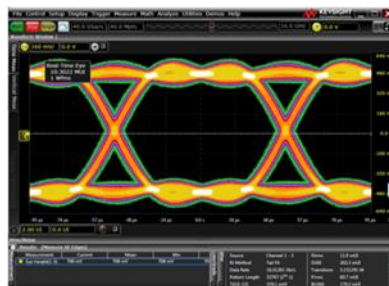


Fig3.4 Inner eye amplitude setting

次に、TBT 規格内で規定されている 16 通りの異なる Emphasis 設定を行い、最も DDJ が少なくなる Emphasis 設定を選択します。



Fig.3.5 Selecting minimum DDJ setting from 16 emphasis settings

Emphasis 設定を選択後、Common Mode Interference (以下 CMI)の振幅、周波数を設定します。CMI は、適正値に設定後、以後の校正を行うために、出力を Off にしておきます。

さらに、ランダムジッタ、正弦波ジッタ、トータルジッタの校正を行います。ランダムジッタ、正弦波ジッタを校正する際には、それぞれ、ランダムジッタ、正弦波ジッタのみを印加し、他のジッタは Off にしておきます。



Fig. 3.6 RJ / SJ / TJ adjustment

正弦波ジッタとランダムジッタの校正が完了したところで、両方のジッタおよび CMI も On にし、トータルジッタを測定します。基本的にトータルジッタは、この段階で必要な値になっているはずですが、もし必要とされる量に合致しない場合には、正弦波ジッタが 100 MHz の場合には、正弦波ジッタの値を変更、正弦波ジッタが 100 MHz 以外の場合には、ランダムジッタの値を変更して最終ターゲットの値に合わせます。

ジッタの校正が完了した後、最後に Inner eye height の調整を行い、波形の校正は完了です。

この後、下図のように DUT を接続し、最終的な Go / No Go 試験を実施します。

Intel から提供される Plug/Receptacle Fixture を経由して測定器の出力を、DUT に接続します。上記で校正したストレス波形に、TBT Compliance Test Specification に記載されている何点かの正弦波ジッタを印加した状態で BER 測定を行います。TBT のジッタ耐力試験では、DUT を Loopback mode に遷移させる必要はありません。BER 測定は、DUT 内部の BER カウンタを使用し、その測定結果は、TBT Gen3 の Chip が実装された PC または、TBT micro controller で読み取り可否判定を行います。

BER 測定結果が E-12 以上確保できていれば合格となります。

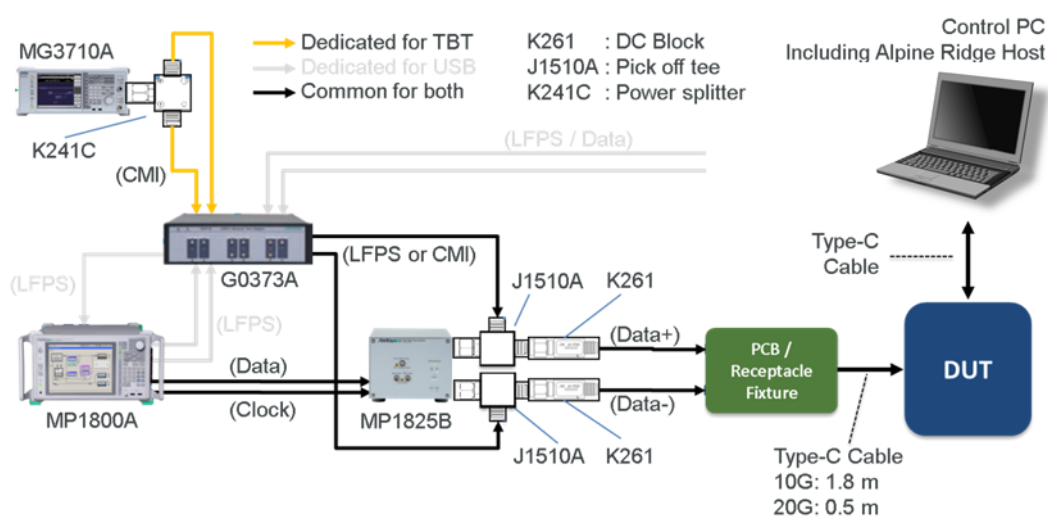


Fig. 3.7 TBT Test connection (TP3EQ)

4 USB 試験

USB3.1 には、5 Gbps で動作する Gen1 と 10 Gbps で動作する Gen2 の 2 つの動作状態があります。Rx ストレス試験では、試験対象となる Generation の規定と、ストレス波形を印加した状態で BER を測定するための Loopback mode への遷移が必要になります。これら動作状態の設定は、コネクタ接続時に DUT と測定器との間で行われる LFPS (Low Frequency Pulse Sequence) という低速制御信号を使った通信により行われます。

試験対象としては、デバイスとホストの 2 つがあり、それぞれ使用する Fixture が異なります。Fixture は USB-IF の Website から入手可能です。

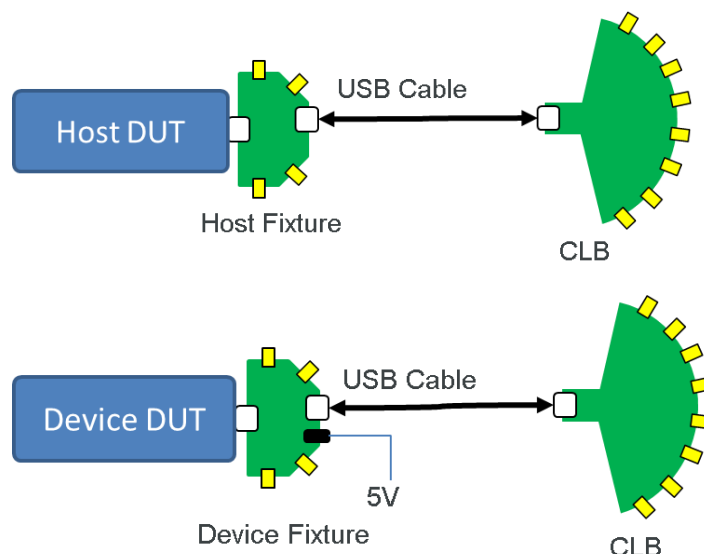


Fig. 4.1 USB Test Fixture

4.1 機器構成

USB 3.1 試験に必要なブロック図と構成を以下に示します。

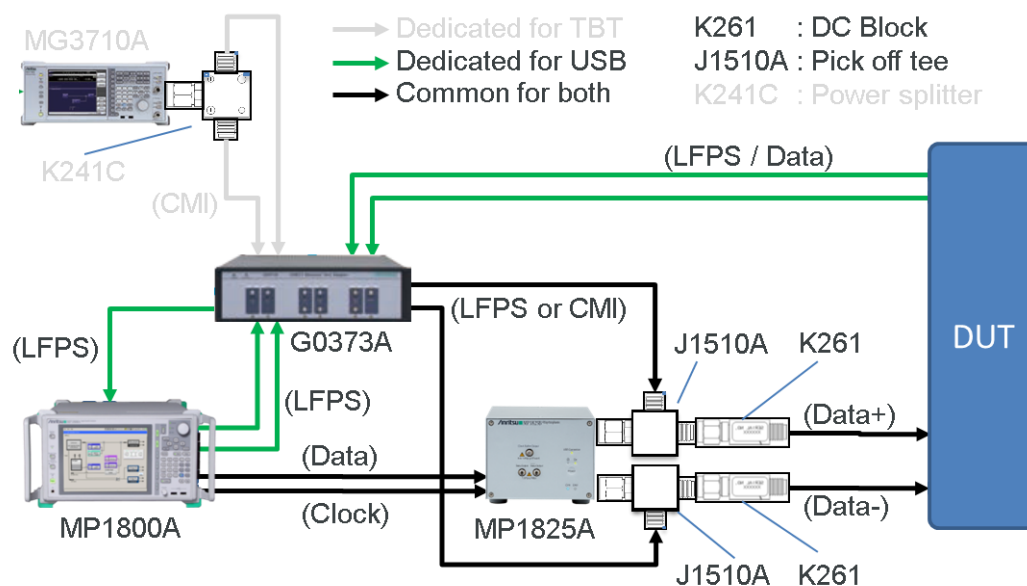


Fig. 4.2 USB Block Diagram

上図ブロック上のグレーで記載した矢印は、TBT の場合のみ必要となるもので、USB として使用する際には不要です。MG3710A, K241C も同様に USB として使用する場合には不要です。また、DUT と MP1825B の間の DC Block K261 は、USB 試験では必要ありませんが、TBT と測定系を共有する場合、測定系に組み込まれていても問題ありません。

Table 4.1 USB Test configuration

Model Number	Model Name	Options	Qty	Note
MP1800A	Signal Quality Analyzer	002, 007, 015, 032	1	Mainframe
MU181000B	4 port synthesizer	-	1	Synthesizer
MU181500B	Jitter generation module	-	1	Jitter source
MU183020A	28G/32G bit/s PPG	012, 030	1	PPG
MP1825B	4Tap Emphasis	002	1	Emphasis
G0373A	USB3.1 USB Test Receiver Adaptor		1	
GRL-USB31-RXA	GRL USB3.1 Receiver Calibration and Test Software		1	
USB SigTest	Version 4.0.19 or above			USB-IF www.usb.org
J1510A	Pick Off Tee	-	2	
K261	DC Block	-	2	Not mandatory for USB
J1551A	Skew matched 0.8m K	-	2	Emphasis to DUT for Data
J1625A	1.0m SMA	-	3	G0373A to MP1800A
J1624A	0.3m SMA	-	2	G0373A to J1510A
J1611A	1.3m K	-	1	PPG-Emphasis for Clock
J1439A	0.8m K	-	1	PPG-Emphasis for Data

4.2 波形校正と BER 測定

USB3.1 でも試験を始める前に、波形の校正を行います。詳細は、GRL-USB31-RXA と同梱している MOI に記載がありますので、ここでは波形校正の概要を示します。

USB-IF から発行されている USB3.1 の規格では、下記の値をターゲットに Rx ストレス試験を行うことになっています。つまり測定器からは下記の信号を発生させ、合否判定を行います。

Table 4.2 Input Jitter Requirements for Rx Tolerance Testing

Symbol	Parameter	Gen 1 (5GT/s)	Gen 2 (10GT/s)	Units	Notes
f1	Tolerance corner	4.9	7.5	MHz	
J _{RJ}	Random Jitter	0.0121	0.01308	UI rms	1
J _{RJ_p-p}	Random Jitter peak-peak at 10 ⁻¹²	0.17	0.184	UI p-p	1,4
J _{PI_500kHz}	Sinusoidal Jitter	2	4.76	UI p-p	1,2,3
J _{PI_1MHz}	Sinusoidal Jitter	1	2.03	UI p-p	1,2,3
J _{PI_2MHz}	Sinusoidal Jitter	0.5	0.87	UI p-p	1,2,3
J _{PI_4MHz}	Sinusoidal Jitter	N/A	0.37	UI p-p	1,2,3
J _{PI_f1}	Sinusoidal Jitter	0.2	0.17	UI p-p	1,2,3
J _{PI_50MHz}	Sinusoidal Jitter	0.2	0.17	UI p-p	1,2,3
J _{PI_100MHz}	Sinusoidal Jitter	N/A	0.17	UI p-p	1,2,3
V _{full_swing}	Transition bit differential voltage swing	0.75	0.8	V p-p	1
V _{EQ_level}	Non transition bit voltage (equalization)	-3	Preshoot=2.7 De-emphasis= -3.3	dB	1

Notes:

1. All parameters measured at TP1. The test point is shown in Figure 6-19.
2. Due to time limitations at compliance testing, only a subset of frequencies can be tested. However, the Rx is required to tolerate Pj at all frequencies between the compliance test points.
3. During the Rx tolerance test, SSC is generated by test equipment and present at all times. Each J_{RJ} source is then added and tested to the specification limit one at a time.
4. Random jitter is also present during the Rx tolerance test, though it is not shown in Figure 6-20.
5. The JTOL specs for Gen 2 comprehend jitter peaking with re-timers in the system and has a 25dB/decade slope.

上記の TP1 は、測定器からの出力端を示しています。

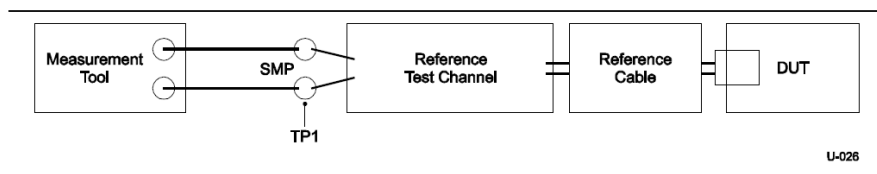


Fig 4.3 Tx Normative Setup with Reference Channel

また、Table 4.2 に記載のある V_{EQ_Level} は、Preshoot, De-emphasis は下記の式に従って計算します。

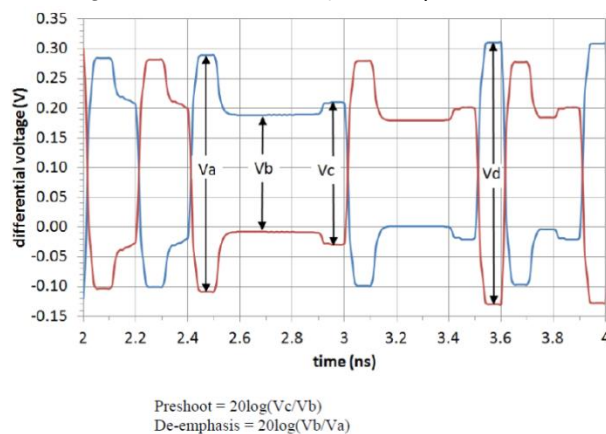


Fig 4.4 Example Output Waveform for 3-tap Transmit Equalizer

波形校正後は、Fig4.5 のように接続し、Go / No Go 試験を行います。USB3.1 Gen2 では、ストレス信号を印加した状態で 120 秒間経過後に Error が 1 個以下だった場合に合格としています。

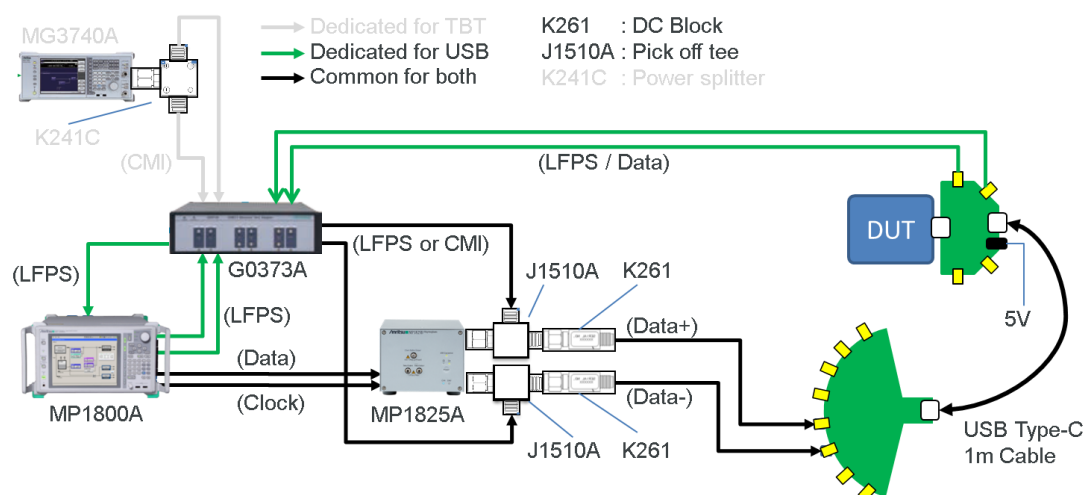


Fig 4.5 USB Test connection

4.3 注意点

USB3.1 の試験をする場合の注意点をいくつか記載します。

まず USB Type C のケーブル自体は、裏表を変更しても使用可能な Flappable ということが特長ですが、Compliance 試験をする場合には、測定機自体が全ルートに接続されているわけではないため、Flappable ではない、ということに注意してください。DUT と測定器を接続する場合、CLB や Host Fixture や Device Fixture を使用しますが、信号の通過するルートは固定です。CLB や Fixture の接続場所および USB ケーブルの裏表を確認した上で試験を実施してください。

次に試験を行う際に Gen1 / Gen2 を決定する LFPS 信号ですが、デバイスを接続した直後に通信が発生します。コネクタの接続が緩い場合等、なんらかの条件により LFPS による通信に失敗した場合には、Loopback mode に遷移しないことがあります。この場合、LFPS は再通信を行いませんので、一度 DUT を Fixture から外し、再度接続する必要がありますのでご注意ください。

さらに、Storage 等の USB Device を接続する場合の Device Test Fixture は、PC 等の USB Host を接続する Host Test Fixture と異なり+5V を給電する必要があります。

そして、Fig. 4.6 に示すように、Test Fixture 上には、二組のショートピン(CC1 と CC2)があります。CC1 がショートされている場合、Rx1 が使用可能になり、CC2 がショートされている場合は、Rx2 が使用可能になります。CC1 と CC2 はどちらか一方をショートする必要がある、両方同時にショートしたり、両方同時にオープンにしたりすることはできません。

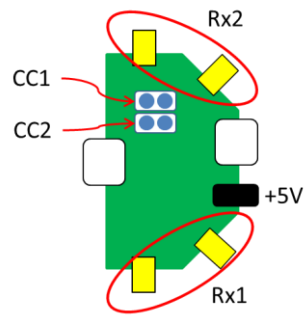


Fig. 4.6 Device test fixture

その他の注意点として、DUT 側からの信号に印加されている Emphasis の値が強すぎたり、弱すぎたりする場合にも正常に Loopback mode に遷移せず、正常試験ができない場合があります。

USB 試験の際には、以上のような注意点に留意する必要があります。

5 アンリツ ソリューション

アンリツは、GRL 社と共同で USB Type-C で使用する Thunderbolt Generation3 および USB3.1 Generation 1/2 のソリューションを提供しています。アンリツの BERT シグナル クオリティ アナライザ MP1800A は、同期可能な多 ch、高品質波形の PPG と高精度な Jitter 発生機能および業界最高クラスの高感度 ED を備えています。そのため、非常に再現性の高い測定結果を提供することができます。

GRL 社の波形自動校正ソフトウェアと合わせて使用することにより、煩雑な波形校正作業を簡略化すると共に、何度でも同一条件での試験をすることが可能になります。

6 参考文献

Universal Serial Bus 3.1 Specification Revision.1.0

USB Type-C Thunderbolt Alternate Mode Electrical Host / Device Compliance Test Specification Rev. 1.5
Version 0.81

GRL Thunderbolt 3 Receiver MOI

GRL USB 3.1 Receiver MOI



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

<http://www.anritsu.com>

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
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
名古屋	〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19	住友生命名古屋ビル
	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1-23-101	大同生命江坂ビル
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28	ツインスクエア
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699

■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。
計測器営業本部 営業推進部

☎ TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248
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: SJPost@zy.anritsu.co.jp

■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

☎ TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)
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

■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があります。
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がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

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。

1602