

# PCI Express Gen5: 自動マルチレーン・テスト

## ホワイト・ペーパー

```
import urllib2
import sys
#####
# Define a function to send an HTTP command and get the result
#####
def Get_HTTP_Result(CmdToSend):
    # Specify the IP address
    CmdToSend = "http://192.168.3.56/" + CmdToSend
    # Send the HTTP command and try to read the result
    try:
```



```
    # Return the response
    return PTE_Return
#####
# Send commands to the RCM / ZTM box:
# Window 1 = SP4T
# Window 2A = SPDT
# Window 3A & 3B = SPDT
#####
# Print the model name and serial number
sn = Get_HTTP_Result("SN?")
mn = Get_HTTP_Result("MN?")
print (mn, "/", sn)

# Set switch 1: COM <> port 4
Get_HTTP_Result('SP4T:1:STATE:4')
SW1_State = Get_HTTP_Result("SP4T:1:STATE?")
```

## はじめに

PCI Express®などのハイスピード・リンクの包括的な特性評価では、リンクの複数の差動レーンでトランスミッタ (Tx) とレシーバ (Rx) を測定する必要があります。これは、自動テスト環境を考えた場合、異なるチャンネル間において同軸接続を物理的に変更しなければならないという課題に突き当たります。RFスイッチ・マトリクスを組み込むことで、物理的な接続変更によるマルチレーン・テスト、自動化ソフトウェアによるテストが可能になります。このホワイト・ペーパーでは、Mini-Circuits®社製のRFスイッチを使用した、自動マルチレーン・テストのテスト環境拡張方法について説明します。さらに、他のRFスイッチ・モジュールや技術についても説明します。

PCI Expressのポートは通常、x1、x4、x8、x16のレーン幅であるため、完全自動のTxまたはRxテストでは問題となります。テスト・チャンネルにRFスイッチを含めることで、DUT、テスト機器のケーブルを頻繁につなぎ変えることなくマルチレーン・テストが行えます。この場合、RFスイッチの電気的な影響を最小限に抑え、テストが仕様要件または検証テスト・プランに応えるものであることを確認する必要があります。このホワイト・ペーパーでは、Gen5 (32GT/s) マルチレーン・テストにおけるMini-Circuits社製RFスイッチの使用方法、およびセットアップ、自動テスト、一般的な課題に関するヒントを説明します。



図1. ZTM2-8SP6T-40

このホワイト・ペーパーでは、x16テストに必要なRFスイッチ構成を説明しますが、低価格のモデルも推奨されることがあります。このスイッチのラインアップは、最大18レーン (PCIeの最大値は一般にx16) に対応していますが、より少ないレーン数にも対応しています。

異なるスイッチ・コンポーネント間で確実に接続するにはリジッド・ケーブルが推奨されており、Mini-Circuits社からお求めいただけます。CEMテストの接続をはじめに説明しますが、このホワイト・ペーパーの最後に示すBASEテストでも同様の方法で実行できます。

終端された40GHzのSP6Tメカニカル・スイッチを8個搭載した、ZTM2-8SP6T-40モジュラ・スイッチ・マトリクスを図1に示します。この構成で、最大18レーンに対応します。隣接する40GHzリレー間の固定接続分岐には、位相マッチングのとれたケーブルをお勧めします。リレーがスルー接続に切り替わらない場合は50Ω終端になります。

終端された40GHzのSP6Tメカニカル・スイッチを8個搭載した、ZT-8SP6T-404U/5Uスイッチ・マトリクスを図2に示します。この構成で、最大18レーンに対応します。隣接する40GHzスイッチ間の固定接続分岐には、リジッド・ケーブルの使用が推奨されています。このマトリクスのスイッチ・コンポーネントは、すべての入出力間で電気経路長が同じになるように配置されています。これは、キャリブレーションとテストで経路間の差異を最小限に抑えることが重要な、マルチレーンRxテストにおいて特に重要です。リレーがスルー接続に切り替わらない場合は50Ω終端になります。

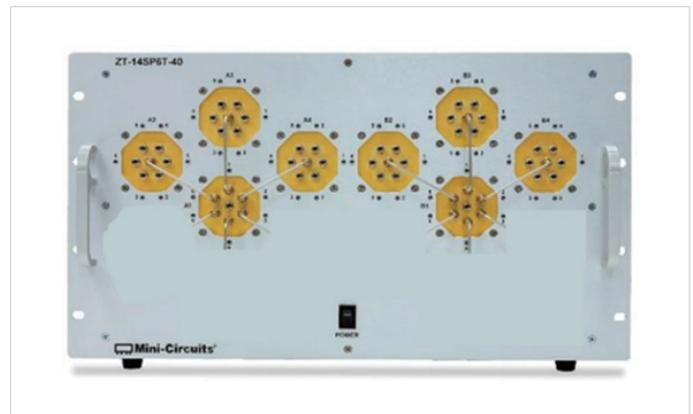


図2. -ZT-8SP6T-40 4U/5U

## RFスイッチ・マトリクス – Gen5 Txテスト

PCIe Gen5デバイス（システム・ホストまたはアドイン・カード）は、マルチレーン・ポート全体でトランスミッタ性能が異なります。すべてのレーンを検証することは、リンクの特性を評価し、シリコン性能、過度の近端、遠端のクロストーク、またはレイアウトの問題を明らかにするうえで一般的な作業です。テスト・セットアップでRFスイッチ（**図3**）を使用することで、エンジニアが頻繁に接続を変更することなく、マルチレーンのTx検証が可能になります。接続は、32GT/s Base Txテストでも同様です（**図10を参照**）。

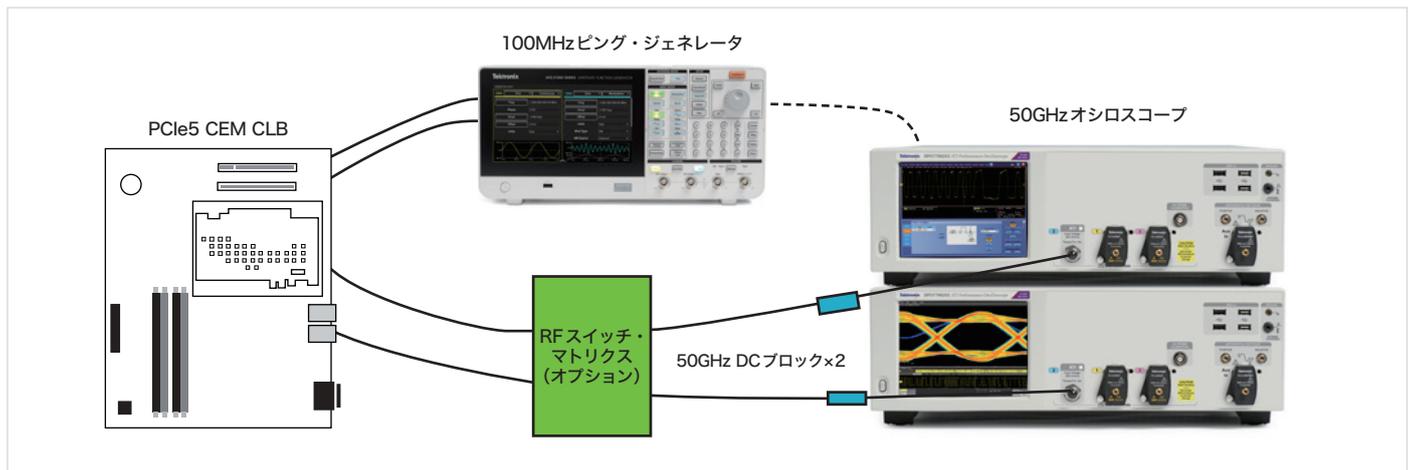


図3. 32GT/s CEMシステムTx (マルチレーン)

システム・ホストの構成では、DUTのCEMコネクタに接続するコンプライアンス・ロード・ボード (CLB) と、各レーンからRFスイッチへのケーブルが必要になります。アドイン・カードの場合、DUTがコンプライアンス・ベース・ボード (CBB) に接続されることを除けば、ほぼ同様です。一対のペア・ケーブルを使用し、終端されたスイッチ・マトリクスと50GHzオシロスコープを接続します。任意波形/ファンクション・ジェネレータ (AFG) などの計測器を使用することで、さまざまなトランスミッタ測定のために必要なDUTのデータ・レート、パターンの切替に要求される、100MHzバースト信号を自動生成できます。

スイッチのセットアップにおけるそれぞれの接続は重要です。挿入損失があるため、32GT/sのTxテストで3つ以上のリレーを直列にカスケード接続することはお勧めしません。DUTとRFスイッチ間では、1mの2.92mmケーブル (テクトロニクスの型名: PMCABLE1M) を、RFスイッチとオシロスコープ入力間では0.5mの2.92mmケーブル (テクトロニクスの部品番号: 174-6663-xx) を使用して接続します。自動のチャンネル間デスキューは、TekExpressソフトウェアを使用してオシロスコープの差動高速エッジで実行します。

[\(DPO-MSO70000 Opt. PCE3, PCE4 and PCE5のデータ・シートを参照\)](#)

チャンネル内のすべてのケーブル、リレー、PCBは、正と負の信号パス間で±1ps以内でマッチングがとれている必要があります。

RFスイッチの入出力で50Ω (100Ω差動) 接続を維持することでチャンネル内の反射が最小限に抑えられますが、挿入損失はある程度発生します。32GT/sの信号品質テストでは物理的な可変ISIボードは必要ありませんが (Gen4テストでは必要)、追加のチャンネル損失とパッケージ損失をオシロスコープに埋め込む必要があります。RFスイッチを含むテスト・フィクスチャの特性評価 (5.0 PHYテスト仕様の付録Bに記載) を実行する必要があります。基本的に、ワーストケースのアドイン・カードの損失 (システム・ホストのテスト時)、またはワーストケースのシステム損失 (アドイン・カードのテスト時) の印加のために、より低損失のフィルタ・ファイルを選択します。RFスイッチ・マトリクスを含むチャンネル損失検証では、高価なVNA (ベクトル・ネットワーク・アナライザ) を使用するのではなく、テクトロニクスのSignalCorrectソリューションを使用します。

[\(Opt. SC SignalCorrect™ソフトウェアのデータ・シートを参照\)](#)

散乱パラメータ (Sパラメータ) ベースのディエンベッドにより、RFスイッチの挿入損失の影響を取り除くことができます。ディエンベッドは、確度を上げるために複雑な作業になりますが、ノイズ増幅の影響も考慮する必要があります。リレー間の接続で位相マッチングのとれたRFケーブルを使用すれば、チャンネル間の電気的な差異は非常に小さくなります。この差異が測定に影響を及ぼすと考えられる場合は、カスタム・チャンネルのSパラメータ・ファイルを検討します。Sパラメータ・ファイルは、SignalCorrectまたはVNAを使用して取込みます。あるいは、テクトロニクスから公称のSパラメータ・ファイルを取得することもできます。

## RFスイッチ・マトリクス – Gen5 Rxテスト

PCIe Gen5のデバイス (システムまたはアドイン・カード) レシーバは、細かく調整されたストレス・アイ信号でテストします。この「ワーストケース」信号は、リファレンス・プレーン (チャンネルなし) での複数のキャリブレーション・ステップで設定し、「ワーストケース」チャンネルは16GHzで34dB~37dBである必要があります。このセクションでは、Rxテストにおいて、終端されたRFスイッチをこの信号のキャリブレーションに組み込む方法、次にマルチレーン・リンクでDUTをテストする方法について説明します。

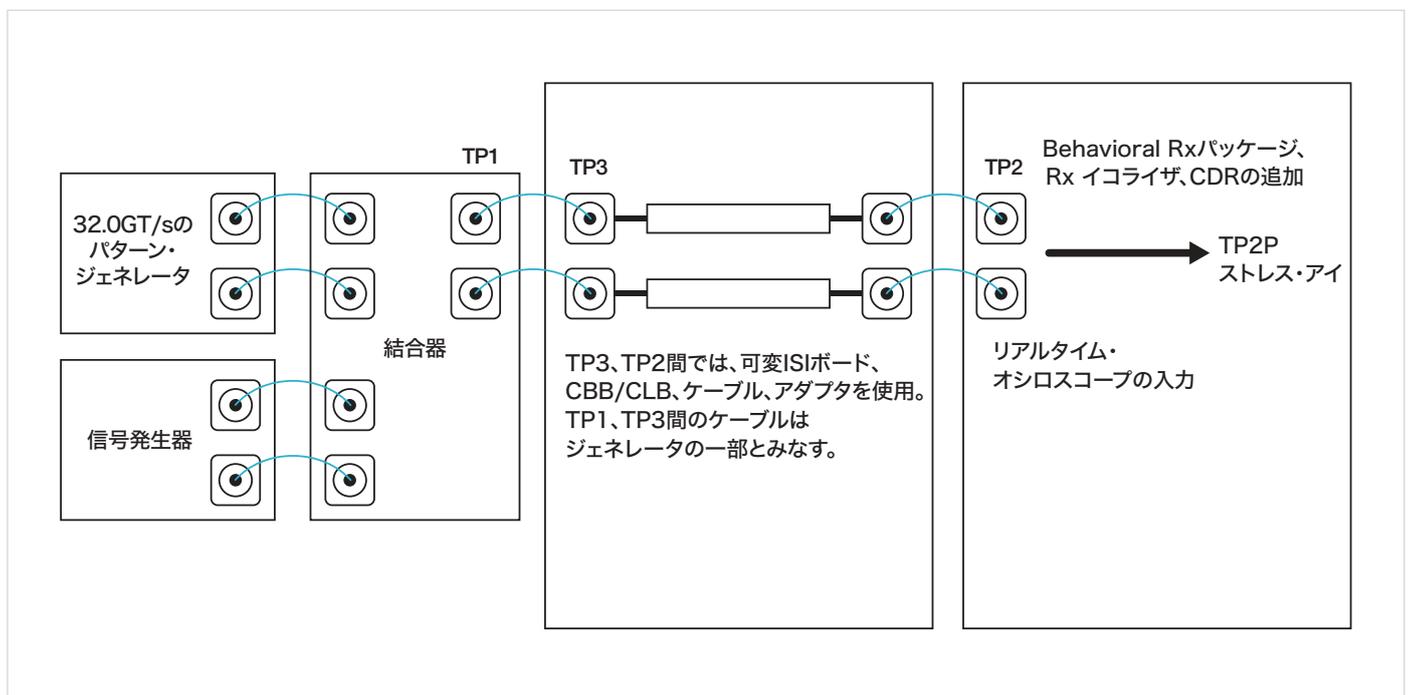


図4. 32GT/s CEM Rxのテスト・ポイント

TP3テスト・ポイントにおける振幅、Txのイコライゼーション、ランダム・ジッタ、正弦波ジッタのキャリブレーションでは、アンリツ社製MP1900A BERT PPGとテクトロニクスの50GHzオシロスコープを直接接続します。この接続では、1mの2.92mmケーブル (テクトロニクスの部品番号: PMCABLE1M) を使用します。TP3キャリブレーションの接続を図5に示しますが、ここではRFスイッチは使用しません。RFスイッチを入れることで電気チャンネルの長さに違いが生ずるため、TP3リファレンス・プレーンの前でこの影響を含めないことをお勧めします。

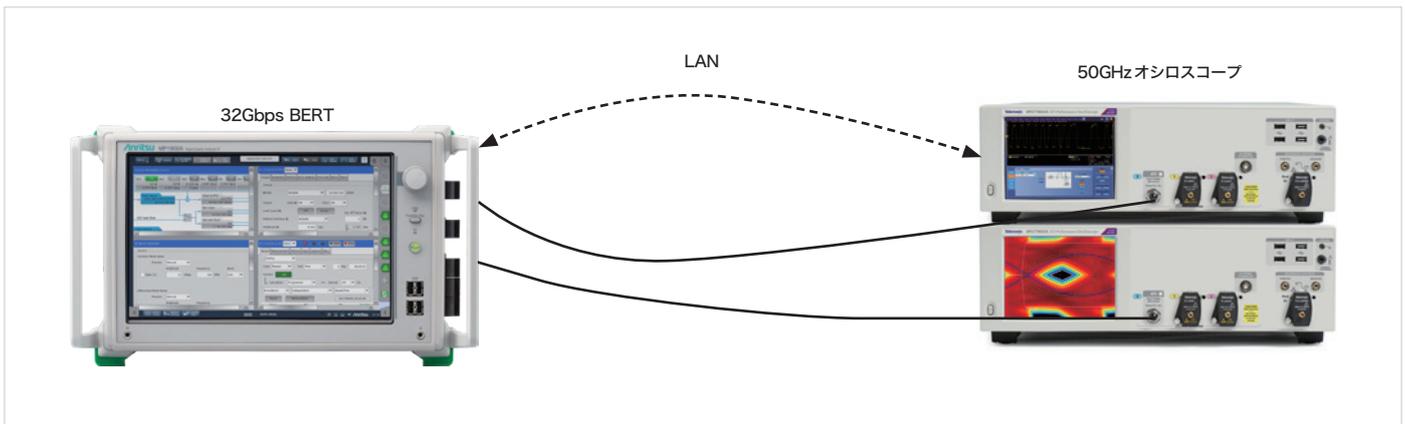


図5. 32GT/s TP3ストレス・アイ(ベース、CEM)

差動モード干渉(DMI)、コモンモード干渉(CMI)を使用したクロストークと、最終的なストレス・アイ・ダイアグラムのキャリブレーションは、TP2Pで実行します。このテスト・ポイントはTP2(BERTとオシロスコープ間の物理チャンネル)の後にありますが、TP2Pにはパッケージのエンベッド、Rxのイコライゼーション、クロック・リカバリの影響が含まれています。TP2キャリブレーション用のRFスイッチの追加を図6に示します。ここでは、スイッチはテスト・フィクスチャ(ベースまたはCEM)の後にあります。ここで、一度のTP2キャリブレーション(ZT-8SP6T-40 4U / 5Uで推奨)、または2回以上のTP2キャリブレーションが必要か(ZTM2-8SP6T-40の異なる電気経路長で推奨)を決める必要があります。32GT/sのストレス・アイ・キャリブレーションで2つ以上のリレーをカスケード接続することはお勧めしません。

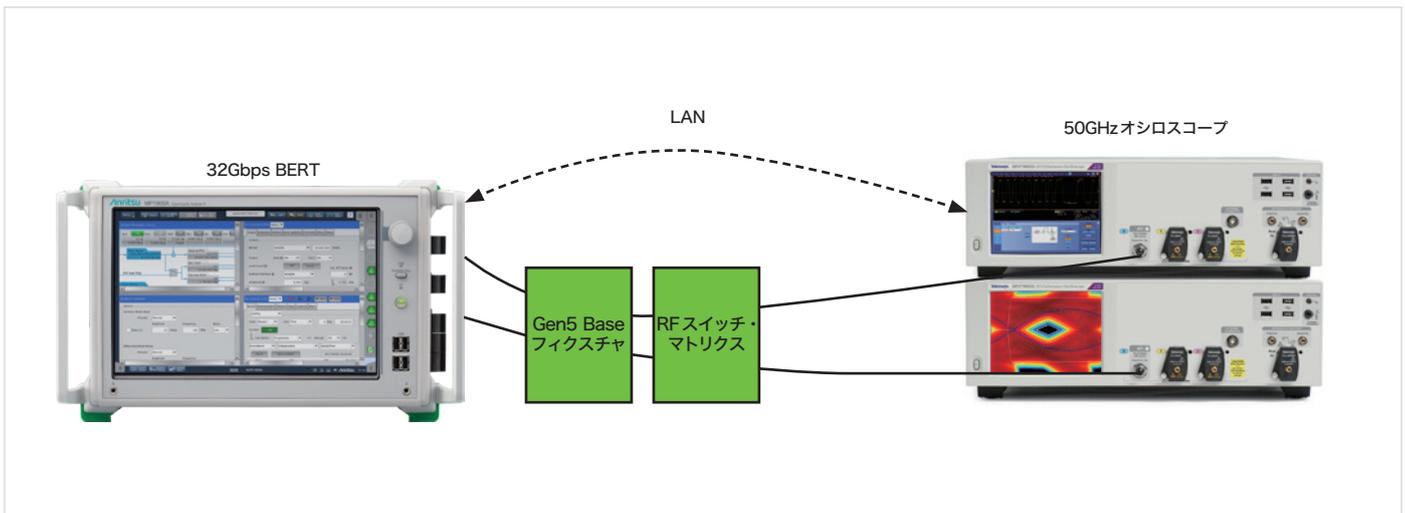


図6. 32GT/s TP2ストレス・アイ

BERTとRFスイッチの接続には1mの2.92mmケーブル(テクトロニクス製の型名:PMCABLE1M)を、RFスイッチとオシロスコープの接続にはそれより短い0.5mの2.92mmケーブル(テクトロニクス製の部品番号:174-6663-xx)を使用します。自動のチャンネル間デスキューは、TekExpressソフトウェアを使用してオシロスコープの差動高速エッジで実行します。

[\(DPO-MSO70000 Opt. PCE3, PCE4 and PCE5のデータ・シートを参照\)](#)

チャンネル内のすべてのケーブル、リレー、PCBは、正と負の信号パス間で±1ps以内でマッチングがとれている必要があります。

RFスイッチの入出力で50Ω(100Ω差動)接続を維持することでチャンネル内の反射が最小限に抑えられますが、挿入損失はある程度発生します。32GT/sの信号品質テストでは物理的な可変ISIボードは必要ありませんが(Gen4テストでは必要)、追加のチャンネル損失とパッケージ損失をオシロスコープに埋め込む必要があります。RFスイッチを含むテスト・フィクスチャの特性評価(5.0 PHYテスト仕様の付録Bに記載)を実行する必要があります。基本的に、ワーストケースのアドイン・カードの損失(システム・ホストのテスト時)、またはワーストケースのシステム損失(アドイン・カードのテスト時)の印加のために、より低損失のフィルタ・ファイルを選択します。RFスイッチ・マトリクスを含むチャンネル損失検証では、高価なVNA(ベクトル・ネットワーク・アナライザ)を使用するのではなく、テクトロニクスのSignalCorrectソリューションを使用します。

[\(Opt. SC SignalCorrect™ソフトウェアのデータ・シートを参照\)](#)

散乱パラメータ(Sパラメータ)ベースのディエンベッドにより、RFスイッチの挿入損失の影響を取り除くことができます。ディエンベッドは、確度を上げるために複雑な作業になりますが、ノイズ増幅の影響も考慮する必要があります。リレー間の接続で位相マッチングのとれたRFケーブルを使用すれば、チャンネル間の電気的な差異は非常に小さくなります。この差異が測定に影響を及ぼすと考えられる場合は、カスタム・チャンネルのSパラメータ・ファイルを検討しま

す。Sパラメータ・ファイルは、SignalCorrectまたはVNAを使用して取込みます。あるいは、テクトロニクスから公称のSパラメータ・ファイルを取得することもできます。

複数のレーンにおいて、32GT/sでキャリブレーションされたストレス・アイ信号を使用したレシーバ・テストでは、**図7**に示すように2つのRFスイッチ・マトリクスが必要になります。リンクがx8以下のレーン数の場合、1つのRFスイッチ・マトリクスを検討します。アンリツ社製MP1900A PPGからの信号は、すべてのPCIeレーンに送る必要があります。デバイスはループバックになるため、デジタル化された信号はTxピンを介して送信され、BERTのエラー検出器に戻ります。多くの32GT/s対応システムは、エラー検出器へ接続されるパスに高損失バック・チャンネルを含むので、テスト機器により検出する信号をイコライズするための外付けのリドライバが必要になります。外付けのリドライバがまだ必要でない場合、RFスイッチを入れることで必要になることがあります。接続は、32GT/s Base Rx LEQテストでも同様です(**図13**を参照)。

BERTとRFスイッチの接続には1mの2.92mmケーブル(テクトロニクスの型名:PMCABLE1M)を、RFスイッチとオシロスコープの接続にはそれより短い0.5mの2.92mmケーブル(テクトロニクスの部品番号:174-6663-xx)を使用します。DUT Txとエラー検出器の接続には、短い2.92mmケーブルが必要になることがあります。

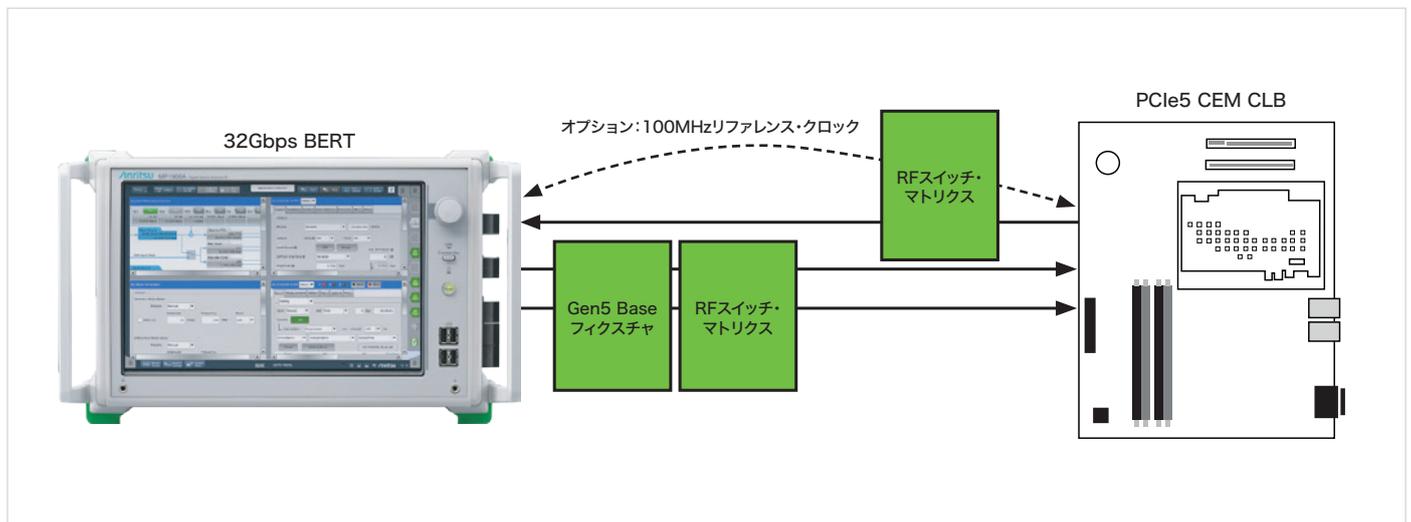


図7. 32GT/sシステム Rx LEQテスト(マルチレーン)

## Mini-Circuitsとの通信手順

TekExpress TX自動化ソフトウェア ([データ・シートを参照](#)) は、TX自動化テストにおいて、Mini-Circuitsのスイッチ・マトリクス制御機能を備えています。このセクションでは、TXまたはRXテストにおいてRFスイッチを制御するための、自動化ソフトウェアの開発方法を説明します。

接続方法：Mini-Circuitsとの接続には、以下の2通りがあります。

1. dll (ダイナミック・リンク・ライブラリ) を使用したUSB
2. EthernetによるHTTPリクエスト

USBによる接続：

1. オシロスコープとMini-CircuitsのRFスイッチをUSBデバイス・ケーブルで接続する。
2. “mcl\_ZTM2\_NET45.dll”をダウンロードする (「ソフトウェア」の項を参照)。
3. DLLを移動する。
  - a. “ModularZT\_NET45.dll”を“C:\Windows\SysWOW64”にコピーする (64ビットOSの場合)。
  - b. “ModularZT\_NET45.dll”を“C:\Windows\System32”にコピーする (32ビットOSの場合)。
4. IronPythonを使用して以下のコマンドを送る。

```

"""
Author : Srinivas R Kalwad
Date  : 6-May-2021
"""

import clr #IronPython
print "clr import is done"
clr.AddReferenceToFileAndPath('C:\Windows\SysWOW64\mcl_ZTM2_NET45.dll')
# Reference the DLL

print "dll referenced"
from mcl_ZTM2_NET45 import USB_ZT
sw = USB_ZT()          # Create an instance of the control class

Status = sw.Connect()  # Connect the system (pass the serial number as an argument if required)

if Status > 0:         # The connection was successful

    Responses = sw.Send_SCPI(":SN?", "")    # Read serial number
    print (str(Responses[2])) # Python interprets the response as a tuple [function
    return (0 or 1), command parameter, response parameter]

    Responses = sw.Send_SCPI(":MN?", "")    # Read model name
    print (str(Responses[2]))

    # SP4T switches
    Status = sw.Send_SCPI(":SP6T:1:STATE:6", "") # Set switch 1 state (COM<->4)
    Responses = sw.Send_SCPI(":SP4T:1:STATE?", "") # Read switch state
    print (str(Responses[2]))

    sw.Disconnect()    # Disconnect at the end of the program

else:
    print ("Could not connect.")

```

図8.

## EthernetによるHTTPリクエスト：

PythonモジュールURllib2で送受信します。

1. 使用するMini-CircuitsのモジュールのIPアドレス (たとえばhttp://192.168.3.56/: + "SN?") で以下の例を更新します。

```
import urllib2
import sys
#####
# Define a function to send an HTTP command and get the result
#####
def Get_HTTP_Result(CmdToSend):
    # Specify the IP address
    CmdToSend = "http://192.168.3.56/" + CmdToSend
    # Send the HTTP command and try to read the result
    try:
        HTTP_Result = urllib2.urlopen(CmdToSend)
        PTE_Return = HTTP_Result.read()
    # Catch an exception if URL is incorrect (incorrect IP or disconnected)
    except:
        print ("Error, no response from device; check IP address and connections.")
        PTE_Return = "No Response!"
        sys.exit() # Exit the script

    # Return the response
    return PTE_Return
#####
# Send commands to the RCM / ZTM box:
# Window 1 = SP4T
# Window 2A = SPDT
# Window 3A & 3B = SPDT
#####
# Print the model name and serial number
sn = Get_HTTP_Result("SN?")
mn = Get_HTTP_Result("MN?")
print (mn, "/", sn)

# Set switch 1: COM <> port 4
Get_HTTP_Result('SP4T:1:STATE:4')
SW1_State = Get_HTTP_Result('SP4T:1:STATE?')
```

図9.

## BASEのキャリブレーションとテスト接続図

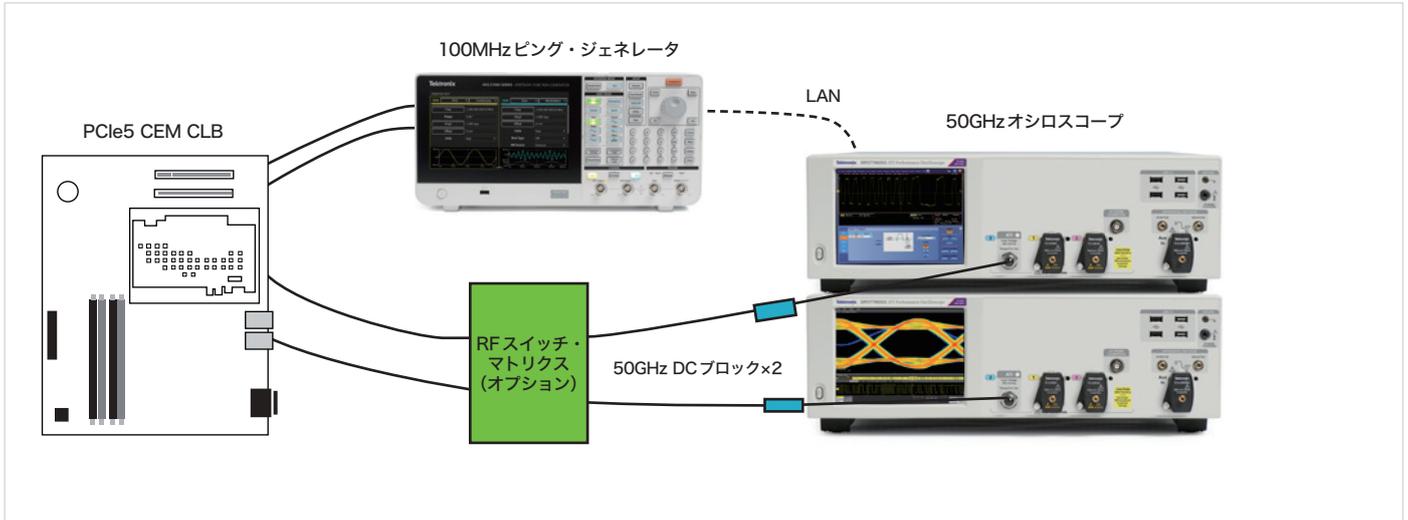


図10. 32GT/s Base RootまたはNON-Root Tx (マルチレーン)

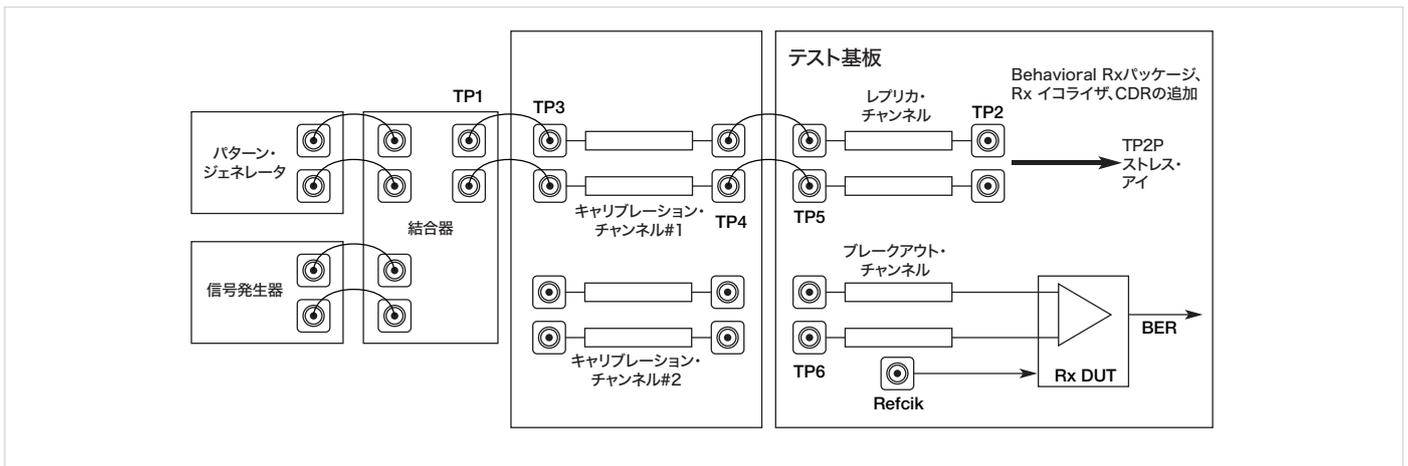


図11. 32GT/s Base Rxテスト・ポイント

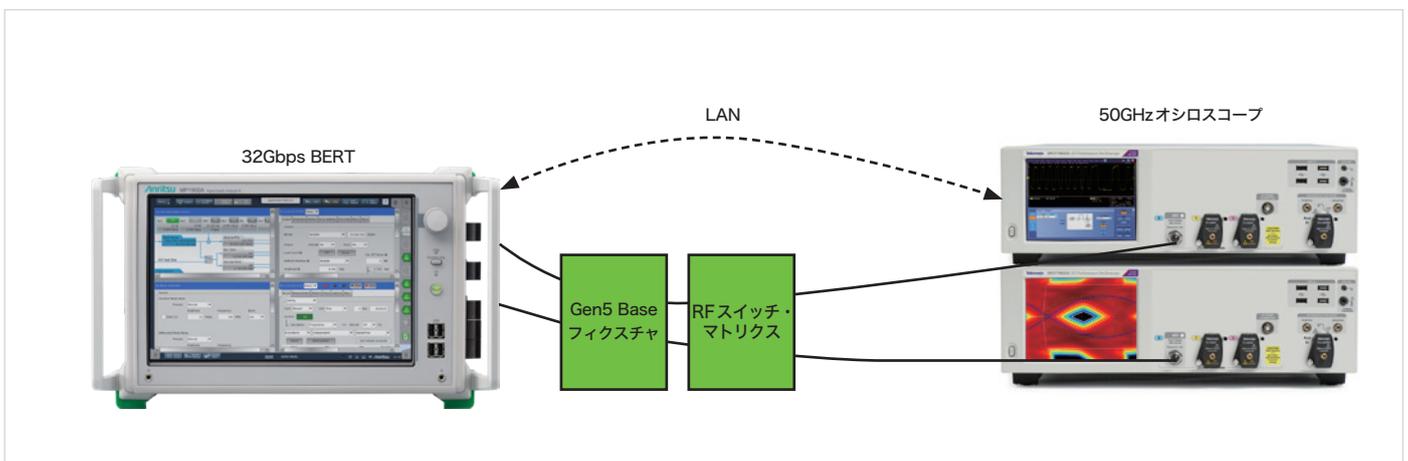


図12. 32GT/s TP2ストレス・アイ

## BASEのキャリブレーションとテスト接続図

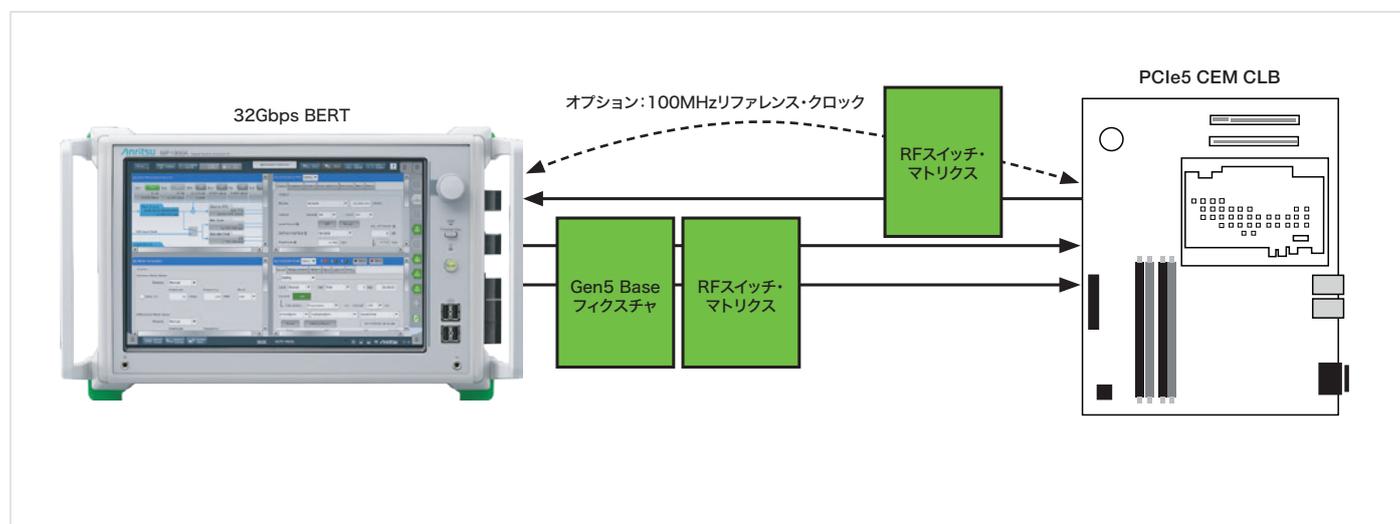


図13. 32GT/s システムRx LEQテスト (マルチレーン)



jp.tek.com

テクトロニクス／ケースレイインストルメンツ

各種お問い合わせ先：<https://jp.tek.com/contact-us>

技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡、修理・校正依頼

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © 2021, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2021年12月 55Z-73836-0