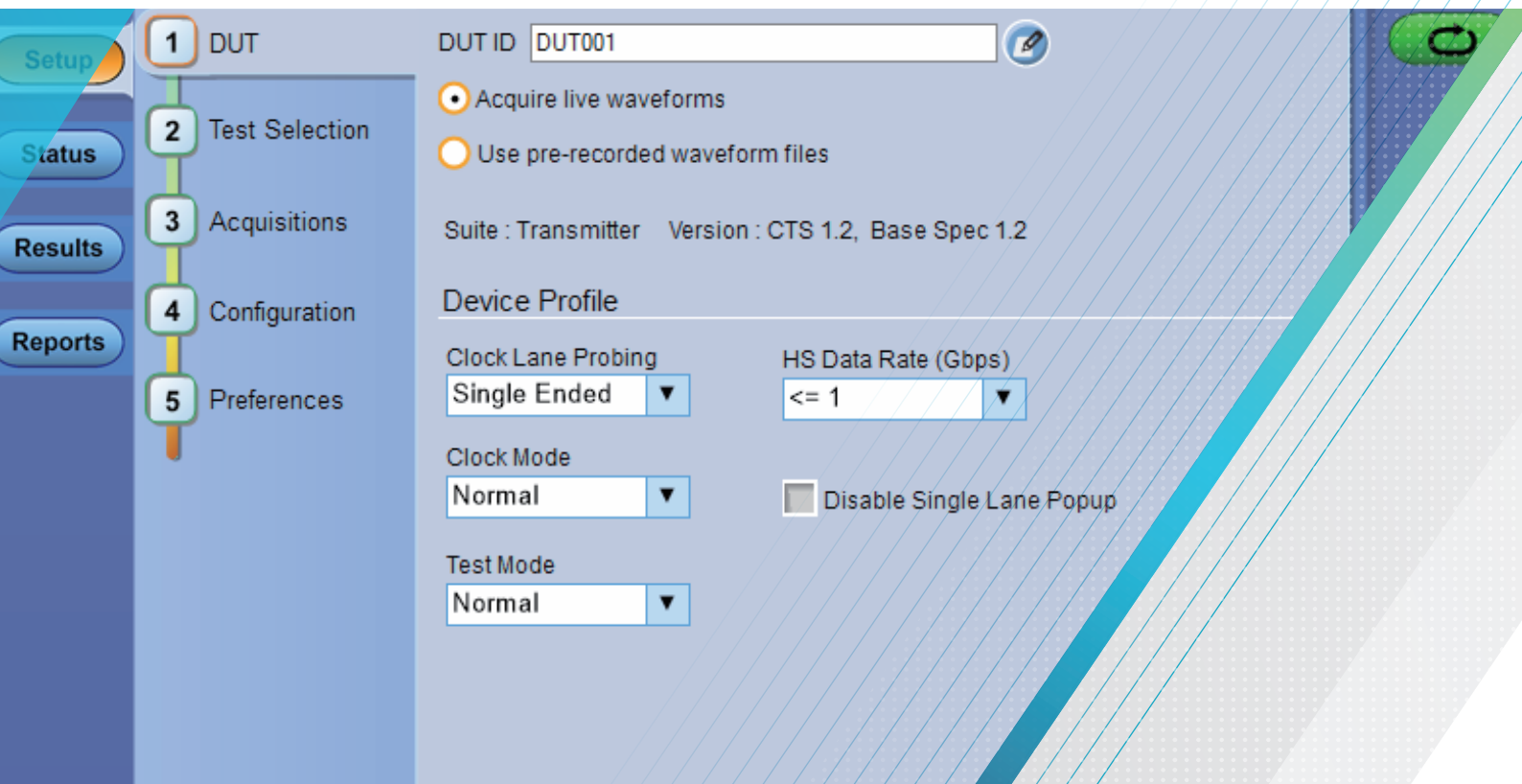


MIPI D-PHY 物理層の 自動コンFORMANCE・テスト

アプリケーション・ノート



低消費電力の高解像度（特にモバイル・デバイスの）ディスプレイのニーズの高まりによって高速シリアル・バスの普及が進んでいます。MIPI D-PHYは、アプリケーション・プロセッサ、カメラ、ディスプレイ間のデータ伝送のために設計された規格バスです。この規格は、主にモバイル・デバイス業界の企業コンソーシアムであるMIPIアライアンスによってサポートされています。規格はアライアンスのメンバー企業が利用でき、ベンダ企業間のデバイスによる確実な動作とインターオペラビリティ（相互運用性）のためには、コンFORMANCE・テストは重要な役割を担っています。信頼性の高いオシロスコープとプローブを使用した自動化システムは、テストの時間を短縮し、テストの再現性を高め、レポート作成が容易になります。

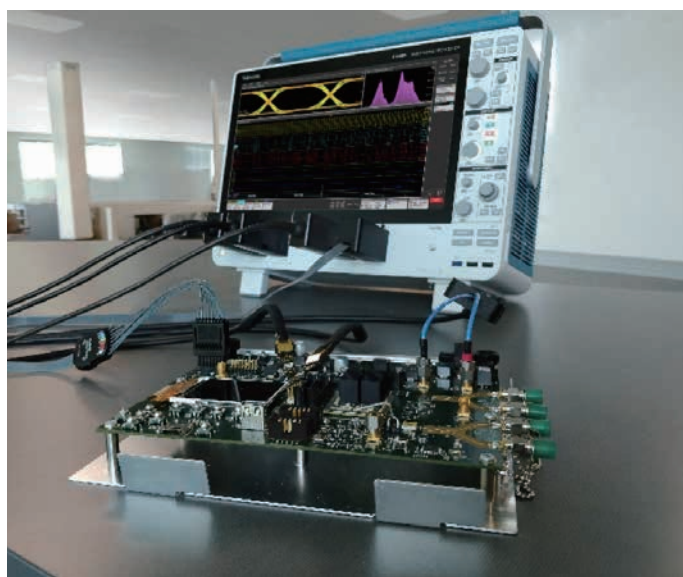
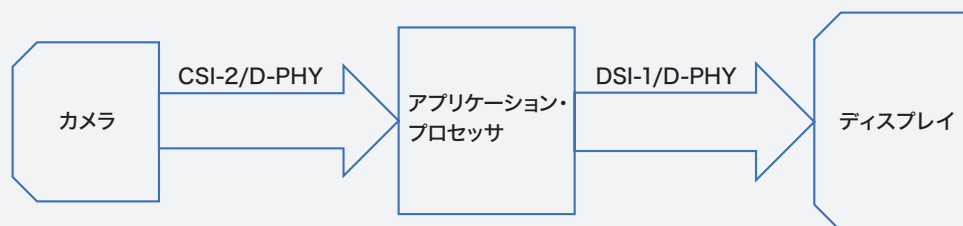


図1. 自動コンFORMANCE・テストで使用される6シリーズMSOと広帯域TriModeプローブ。

物理層

D-PHYの物理層はクロックとデータで構成されており、高速に動作します。物理層は、さまざまなプロトコル・レイヤに対応しています。例えば、カメラで取込んだイメージはCSI-2プロトコルのD-PHY物理層でアプリケーション・プロセッサに送られ、次にDSIプロトコルのD-PHY物理層でディスプレイに送られます。CSIとDSIは、D-PHYで実行するプロトコルです。各レーンのデータは、V1.2の規格では最高2.5Gbpsで、V2.1の規格では最高4.5Gbpsで伝送でき、高い解像度のイメージを優れた品質で伝送します。

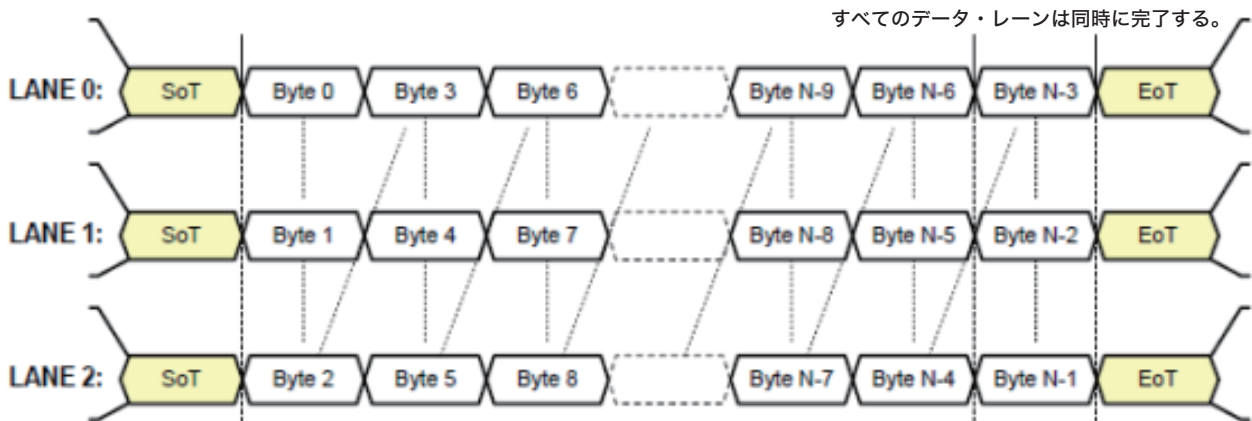
データ・レーン [D0:D3] のD0レーンは双方向であり、BTA (Bus Turn Around) 機能で使用されます。ホスト・トランスミッタが周辺機器からの応答を要求する場合、伝送の最後のパケットにおいてPHYにリクエストを発行します。これにより、PHY層にBTAコマンドとEoT (End-of-Transmission) シーケンスをアサートすることを知らせます。残りのレーンとクロックは、単一方向です。データは、レーンに対してストライピング（縞模様）に配置されています。例えば、最初のバイトはD0に伝送し、次のバイトはD1に、のように伝送します。5番目のバイトはD0に伝送します。データ・レーンのアーキテクチャは、設計要件をもとに1レーンから4レーンまでスケラブルです。1クロック、3レーン・システムのデータ・ストライピングを図3に示します。レーンごとに、独立したSoT (Start of Transmission) とEoT (End of Transmission) があります。SoTは、すべてのレーン間で同期しています。しかし、レーンは他のレーンの前にHS伝送 (EoT) を完了します。



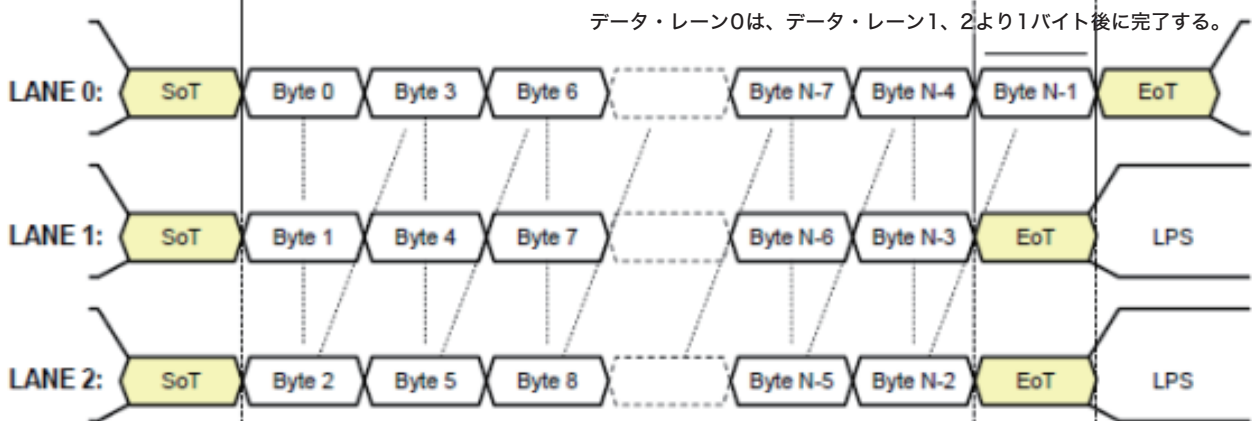
D-PHYのデータの流れ

図2. D-PHYの物理層はさまざまなプロトコルをサポートしてデータ伝送を最適化する。

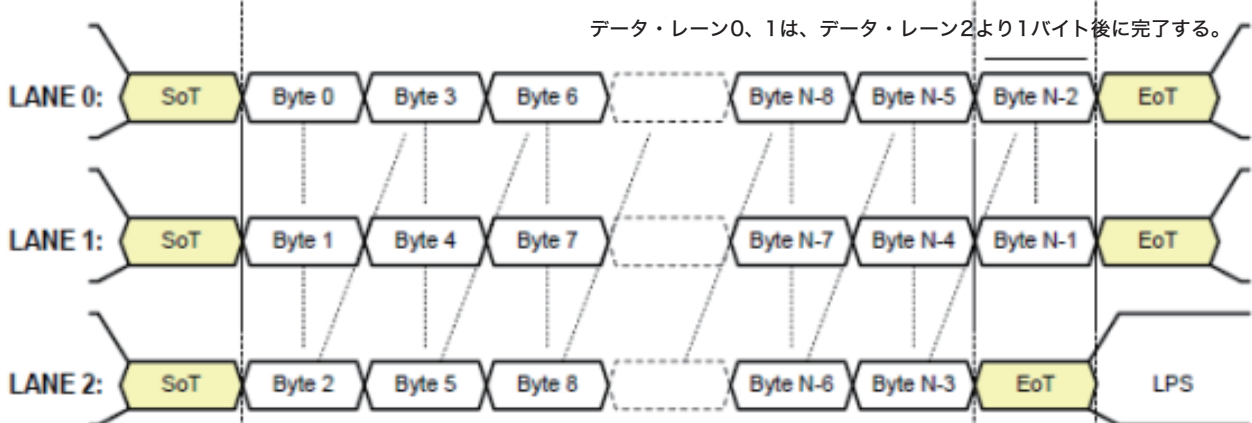
伝送されるバイト数Nは、レーン数の整数倍：



伝送されるバイト数Nは、レーン数の整数倍ではない(例1)：



伝送されるバイト数Nは、レーン数の整数倍ではない(例2)：



注：

LPS – Low Power State

SoT – Start of Transmission

EoT – End of Transmission

図3.3レーン・システムのデータ・ストライプ(出典：MIPI Alliance仕様、DSI v1.1)

4つのレーンが2.5Gbps/レーンで動作する場合、D-PHY 1.2の信号の最高スループットは約10Gbpsにできます。物理層の信号には、HS (High Speed) モードとLP (Low Power) モードの2種類があります。HSモードは、高速のデータ伝送で使用します。システムがアイドルの状態では、バッテリー寿命を延ばすLPモードで制御情報を伝送します。HSとLPのモードの終端は異なっているため、システムはダイナミックに終端を切り替えて両方のモードに対応しなければなりません。

HSデータの速度が上がると、ディスプレイがサポートする解像度は増し、結果として画像の明瞭度は向上します。データ・レートと解像度の関係を理解するためには、いくつかのパラメータを考察する必要があります。

- ピクセル・クロック：ピクセルが伝送されるレートを決定する。
- リフレッシュ・レート：画面が1秒間にリフレッシュする回数。
- 色深度：1つのピクセルの色を再現するために使用されるビット数。

ピクセル・クロックは、次のように求められます。

$$\text{ピクセル・クロック} = \text{水平サンプル数} \times \text{垂直ライン数} \times \text{リフレッシュ・レート}$$

ここで、水平サンプル数と垂直ライン数は、水平、垂直のブランキング期間を含みます。

例えば、解像度1280×720p、リフレッシュ・レート60回/秒では1650×750になります。水平サンプル数と垂直ライン数の違いは、ブランキングによるものです。

この例では、ピクセル・クロック周波数は次のようになります。

$$1650 \times 750 \times 240 = 297\text{MHz}$$

上の例では、サポートに必要なトータルのデータ・レートは以下のようになります。

$$\text{カラー深度} = 24\text{ビット}$$

$$\text{データ・レート} = 297 \times 24 = 3564\text{Mbps}$$

$$\text{レーン数} = 2$$

$$\text{必要となるデータ・レート/レーン} = 1.732\text{Gbps/レーン}$$

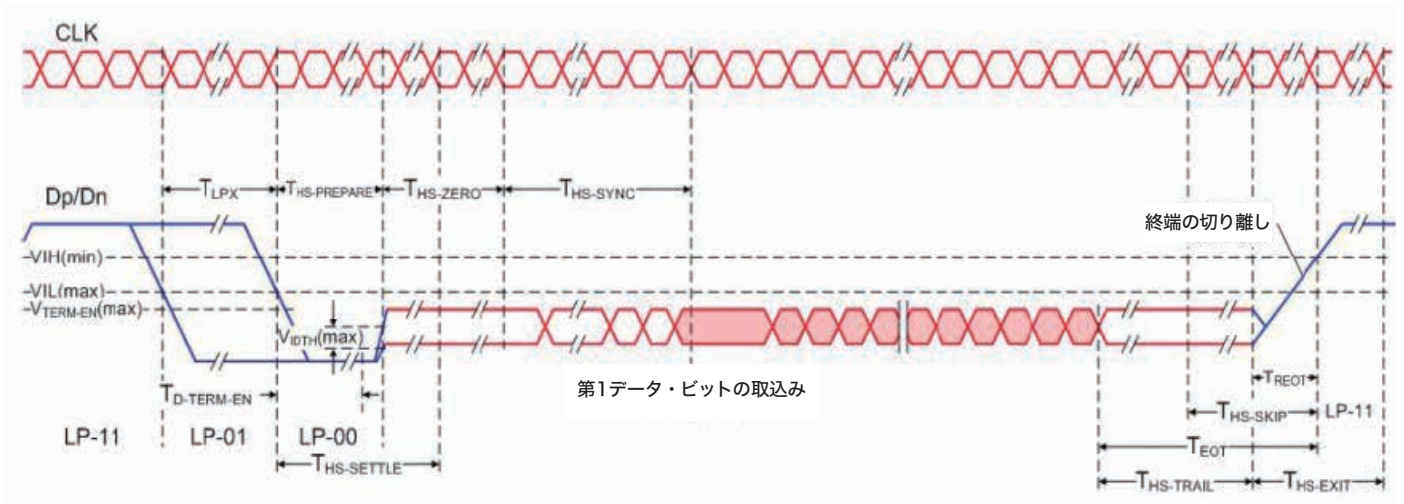


図4. 連続クロック・モードにおけるD-PHYデータ・レーンのモードとスタート (MIPI Alliance仕様、D-PHY、Version 1.2、MIPI Alliance, Inc.)

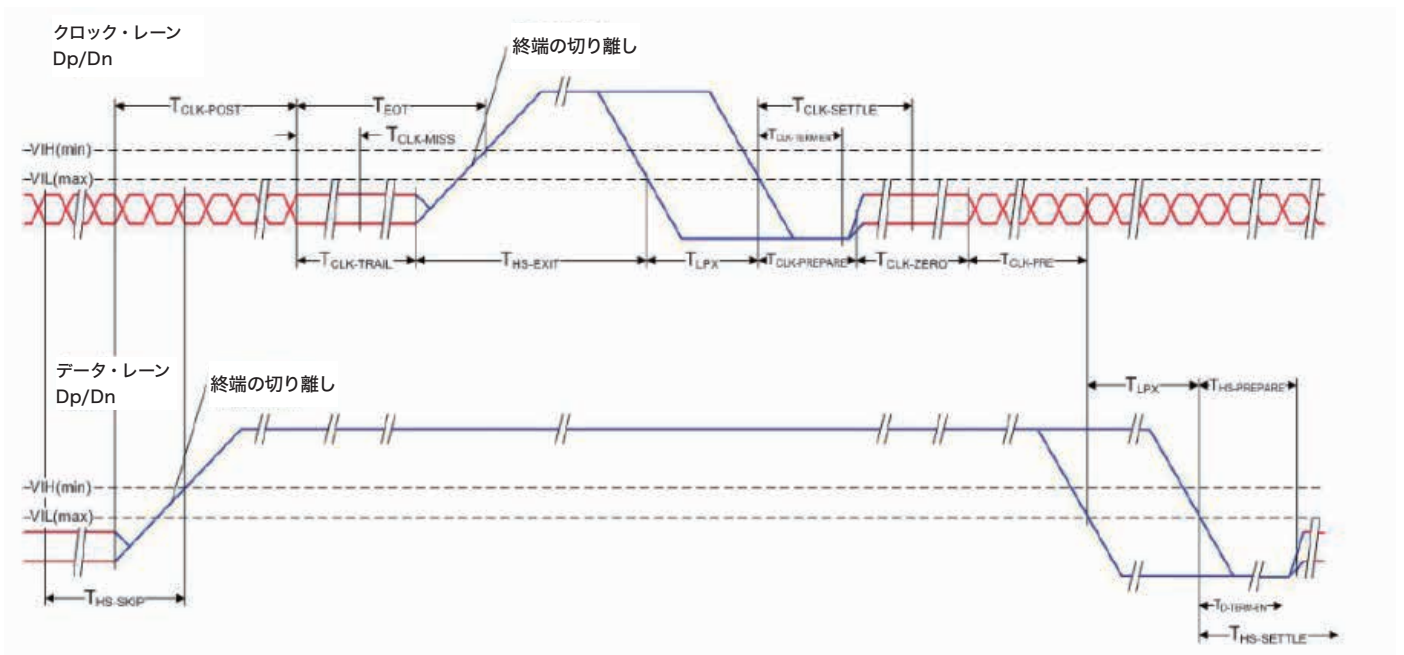


図5. ノーマル・クロック・モードにおけるD-PHYクロック・レーンのモードとスタート (MIPI Alliance仕様、D-PHY、Version 1.2、MIPI Alliance, Inc.)

電気シグナリング

解像度とレーン速度の関係を見てきましたが、次はD-PHY 1.2のシグナリング/電気層テストについて説明します。

データはHSモードで伝送されますが、ラインがアイドル状態ではトランスミッタは非終端の（あるいは終端なしの）LPモードに切り替えて低消費電力にします。HSモードでは、差動電圧は140mV（最小値）、200mV（公称値）、270mV（最大値）であり、データ・レートの最大値は2.5Gbpsです。HSモードには、HS-0（差動0）とHS-1（差動1）の2つの状態があります。

LPモードでは、1.2V振幅、最大データ・レート10Mbpsの2つのシングルエンド・ラインでシグナリングします。Dp (Data Positive) ラインとDn (Data Negative) ラインは、互いに独立しています。それぞれが0、1の2つのステートを持ちます。これにより、LPモードはLP-00、LP-01、LP-10、LP-11の4つのステートを持ちます。

2つの異なる動作モードを実現するには、レシーバ端の終端はダイナミックである必要があります。HSモードではレシーバは差動100Ωで終端し、LPモードではオープン（終端なし）にします。HSモードとLPモードの立上り時間は異なります。

プロービングの問題点

レシーバ端のダイナミックな終端により、D-PHY信号のテストは複雑なものになります。プローブは、DUTに負荷を加えることなく、HSとLPの信号をシームレスに切り替えられることが求められます。ほとんどのタイミング・パラメータは、HSエントリ・モードで測定する必要があります。この測定は、クロック・アローン・テスト、データ・アローン・テスト、クロックデータ・テストで行います。さらに、オシロスコープの別々のチャンネルで、Clock+ (Cp)、Clock- (Cn)、Data+ (Dp)、Data- (Dn) を取り込む必要があります。

D-PHY 1.2の仕様でサポートされている最高速度は2.5Gbpsであるため、必要最小限の周波数帯域は8GHzになります。したがって、HS-LP、LP-HSのトランジション領域で波形を取込むには、最高8GHzの帯域で安定した特性を持ったプローブが必要になります。

D-PHYは、自動車のディスプレイ、カメラ・アプリケーションで主流になりつつある規格です。自動車が使われる温度でのテストには、プロービングにおいても問題点があります。

テスト・セットアップ

オシロスコープとプローブに必要な最低周波数帯域は4GHzです。最も高速な2.5Gbpsのデータ・レートにおける、オシロスコープとプローブの推奨周波数帯域は8GHzです。

セットアップには、以下のものが含まれます。

- オシロスコープ
- 低負荷容量のシングルエンド・プローブ (4本)
- TekExpress D-PHY 1.2自動テスト・ソリューション
- Advancedジッタ/タイミング解析ソフトウェア (推奨)
- プロービング/終端基板

オシロスコープ	プローブ
6シリーズMSO 周波数帯域：8GHz	TDP7708型TriMode™ プローブ、P77STFLXA型 (4)
MSO/DPO70000C/DXシリーズ 周波数帯域：8GHz以上	P7708型TriMode™ プローブ、P77STFLXA型 (4)
DPO70000SXシリーズ 4チャンネル、最高周波数帯域33GHzのみ	P7708型TriMode™ プローブ、P77STFLXA型 (4)

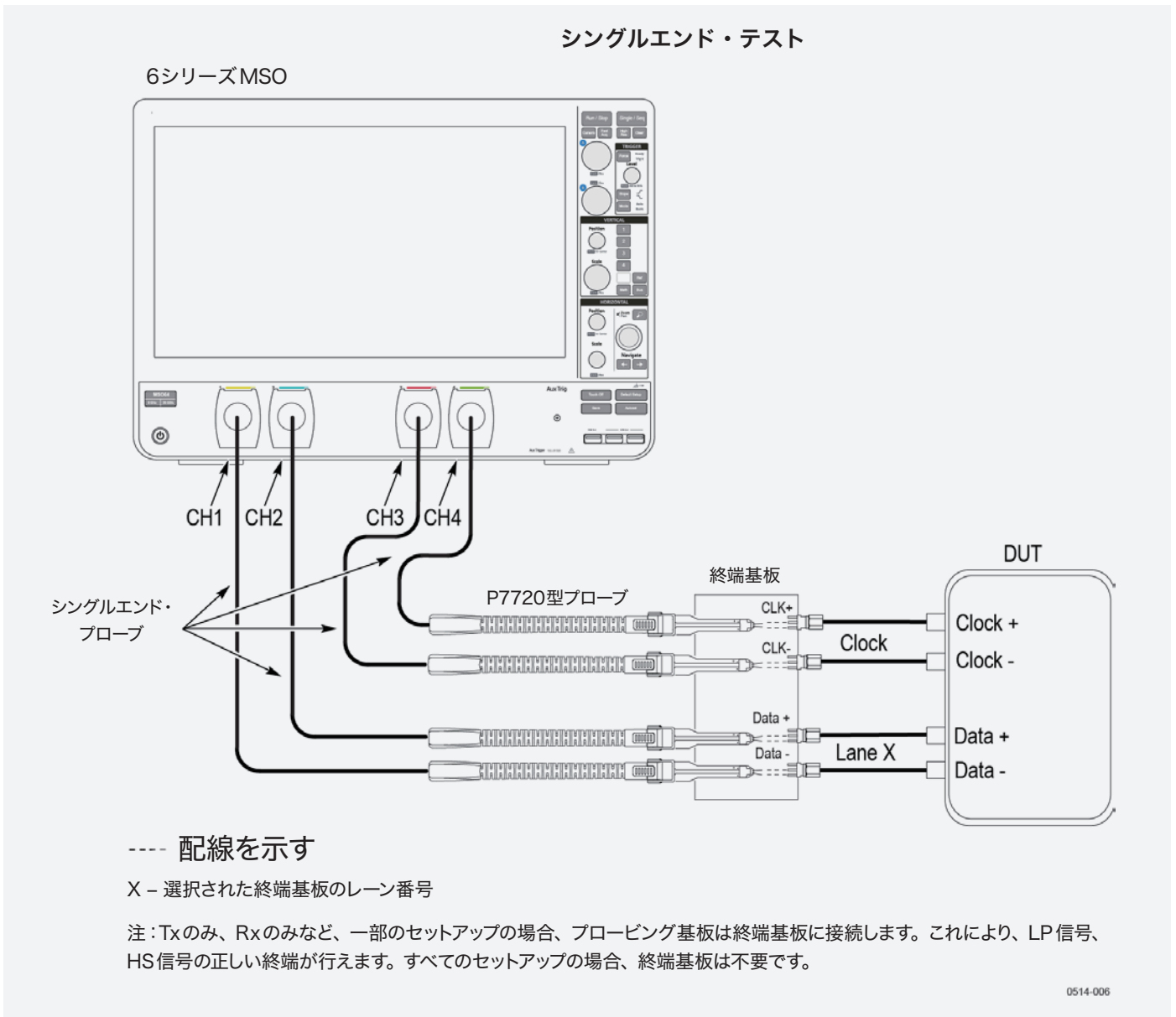


図6. 6シリーズ MSOを使用した、シングルエンド・テストのセットアップ例。

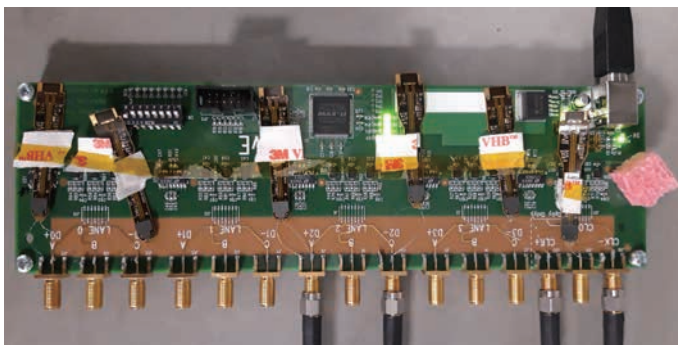


図7. TriMode プローブのプローブ・チップをはんだ付けしたD-PHY終端基板。

テスト

物理／電気層のテストは、Group 1～Group 6のサブ・グループに分かれています。

- Group 1：データ・レーンLP-TXシグナリング
- Group 2：クロック・レーンLP-TXシグナリング
- Group 3：データ・レーンHS-TXシグナリング
- Group 4：クロック・レーンHS-TXシグナリング
- Group 5：クロックデータ・タイミングHS-TXシグナリング
- Group 6：INIT、ULPS、BTAの動作

2つのテスト信号は、DUTから供給する必要があります。

- Group 1、2、6では、DUTからのエスケープ・モード信号が必要
- Group 3、4、5では、DUTからのノーマル・モード信号が必要

例えば、Group 5のデータクロック・スキュー・テストでは、データのローンチ時間と理想的な $1/2U_{inst}$ 間の許容偏差に対するDUT性能をチェックします。これにより、クロックに対してデータがどの程度解釈されているかがわかります。図8に示すアイ・ダイアグラムでは、信号とデータクロック・スキューの品質が詳細にわかります。

グループ No.	概要	テスト信号要件
1	データ・レーン LP-TXシグナリング	ULPS(Ultra Low Power Sequence) エントリによるエスケープ・モード
2	クロック・レーン LP-TXシグナリング	ULPS エントリ/終了シーケンスによる エスケープ・モード
3	データ・レーン HS-TXシグナリング	LP エントリ/終了の両方による HSバースト
4	クロック・レーン HS-TXシグナリング	1. バースト・モード：バースト・モードをサポートするDUTのLP エントリ/終了によるHSバースト。 2. 連続モード：このグループのLPに特化したテストは、連続クロックが有効/無効になった場合に発生するHS エントリ/終了シーケンスの立上り/立下りで個別に実行する必要もある。
5	HS-TXクロックデータ・レーン・タイミング	LP エントリ/終了によるHSバースト
6	LP-TX INIT、ULPS、BTA	INIT、ULPS、BTAによる エスケープ・モード

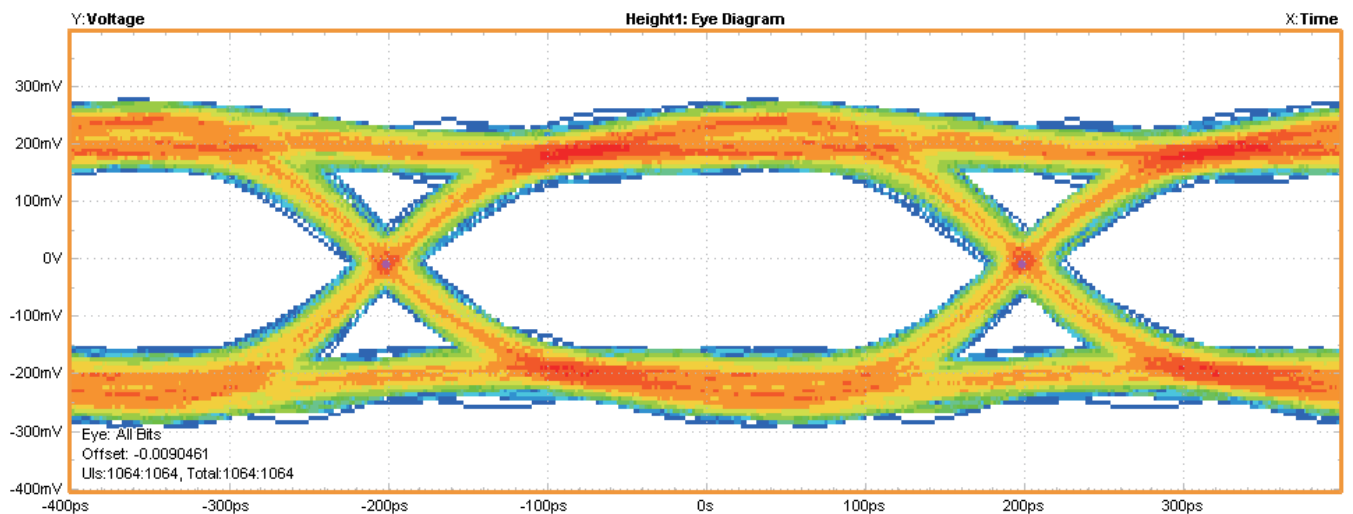


図8. HS-TXクロックデータ・レーン・タイミング・テストでのアイ・ダイアグラムの例

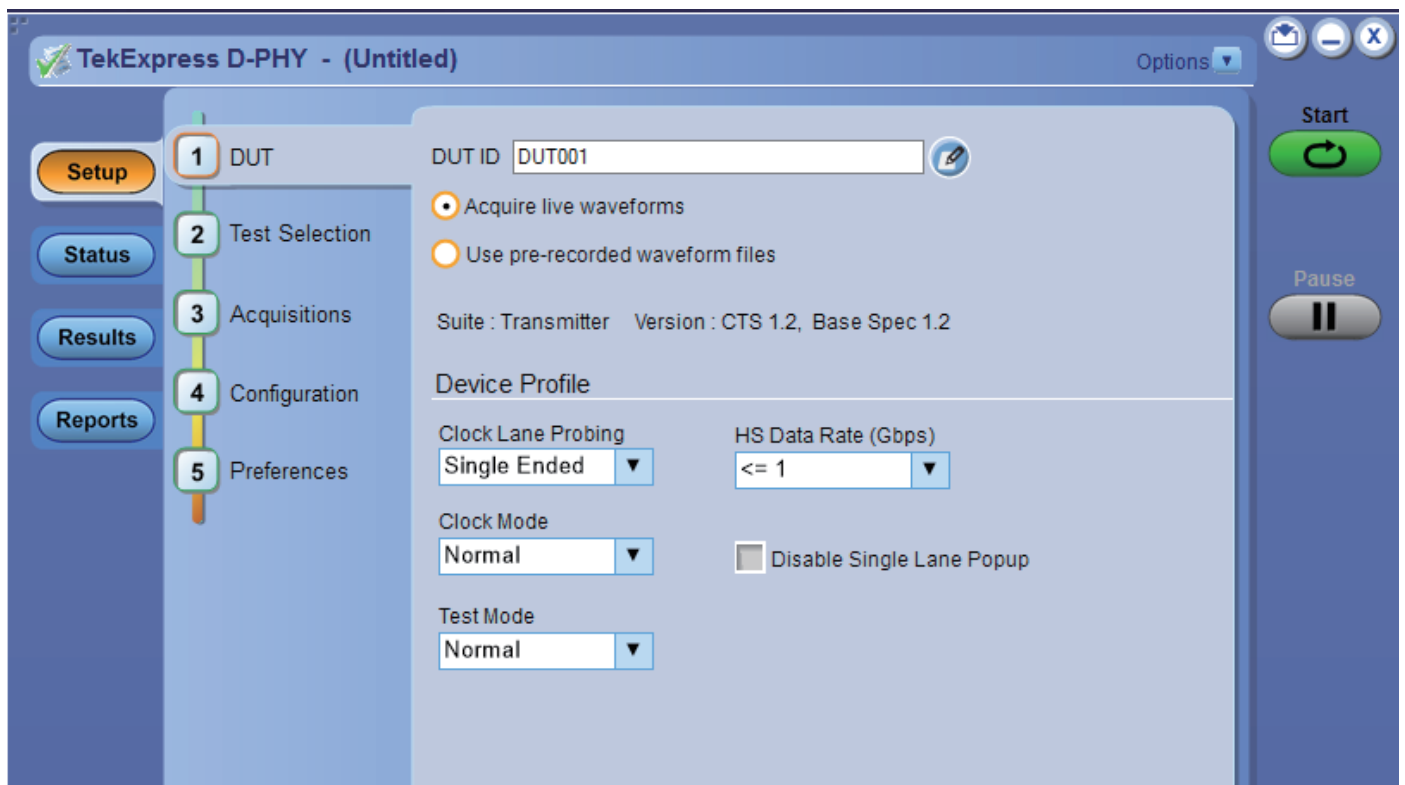


図9. TekExpress D-PHY自動テスト・ソフトウェアの画面。セットアップからレポートまでサポートされている。

自動テストと TekExpress ソリューション

TekExpressソリューションは、高速な自動化テストと6シリーズMSO、MSO/DPO7000/DXシリーズ、DPO70000SXシリーズ・オシロスコープを統合します。TekExpressソフトウェアは、レーン終端に関係なくセットアップからテストの実行まで、直感的なワークフローとして構築されたGUI (Graphical User Interface) を備えています。DUT独自のデータ・レートに合わせて調整可能なセットアップ、リミット値、カスタム化により、インサーキット動作条件でのコンプライアンス測定も行えます。Opt. DJA (拡張ジッタ解析) を装備したオシロスコープでTekExpress D-PHYソリューションを実行すると、データクロックのスキュー・テスト (Test ID 1.5.4) のためのアイ・ダイアグラムが表示でき、データとクロック間のスキューを確認することができます。

TekExpress自動化フレームワークは高速のD-PHYコンFORMANCE・ソリューションであり、さまざまな環境条件におけるDUTの性能評価において、大幅な時間短縮が可能になります。

このソリューションは、あらかじめ記録したモードでのオフライン波形テストも行えます。データを何回も取込んでおいて後から処理できるため、時間と手間を省けます。

レポートはさまざまなフォーマットに対応しており、内容のカスタマイズも可能です。結果は、テスト名 (デフォルトの設定)、レーン名、またはテスト結果でグループ分けできます。解析の最初の領域のイメージは、オプションとして含めることができます。レポートは、パス/フェイルの結果テーブルだけでなく、各テストのマージンの詳細まで、1つのまとまったレポートとして生成され、エクスポートすることもできます。

自動コンFORMANCE・テストは、特にMIPI D-PHY物理層のテストにおいて、マニュアルでのテストに比べて短時間に、より再現性に優れたテストが行えます。TekExpress自動化ソフトウェアと6シリーズMSO、TDP7700シリーズ・プローブなど、適切なオシロスコープ、プローブを組み合わせることで、テストを短時間に実行し、再現性を向上させ、レポートを容易に作成することが可能になります。

お問い合わせ先：

オーストラリア 1 800 709 465
オーストリア 00800 2255 4835
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777
ベルギー 00800 2255 4835
ブラジル +55 (11) 3759 7627
カナダ 1 800 833 9200
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランス 00800 2255 4835
ドイツ 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
インド 000 800 650 1835
インドネシア 007 803 601 5249
イタリア 00800 2255 4835
日本 81 (3) 6714 3086
ルクセンブルク +41 52 675 3777
マレーシア 1 800 22 55835
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 00800 2255 4835
ニュージーランド 0800 800 238
ノルウェー 800 16098
中国 400 820 5835
フィリピン 1 800 1601 0077
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
韓国 +82 2 6917 5000
ロシア +7 (495) 6647564
シンガポール 800 6011 473
南アフリカ +41 52 675 3777
スペイン 00800 2255 4835
スウェーデン 00800 2255 4835
スイス 00800 2255 4835
台湾 886 (2) 2656 6688
タイ 1 800 011 931
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835
アメリカ 1 800 833 9200
ベトナム 12060128

2017年4月現在



jp.tek.com

テクトロニクス／ケースレーインズツルメンツ

お客様コールセンター：技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡

TEL: 0120-441-046 ヨク良い オシロ 営業時間／9：00～12：00・13：00～18：00
(土日祝日および当社休日を除く)

サービス・コールセンター：修理・校正の依頼

TEL: 0120-741-046 なんと良い オシロ 営業時間／9：00～12：00・13：00～17：00
(土日祝日および当社休日を除く)

〒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 © 2020, 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。

2020年1月 48Z-61638-0