

# TriMode™プローブ・アーキテクチャ

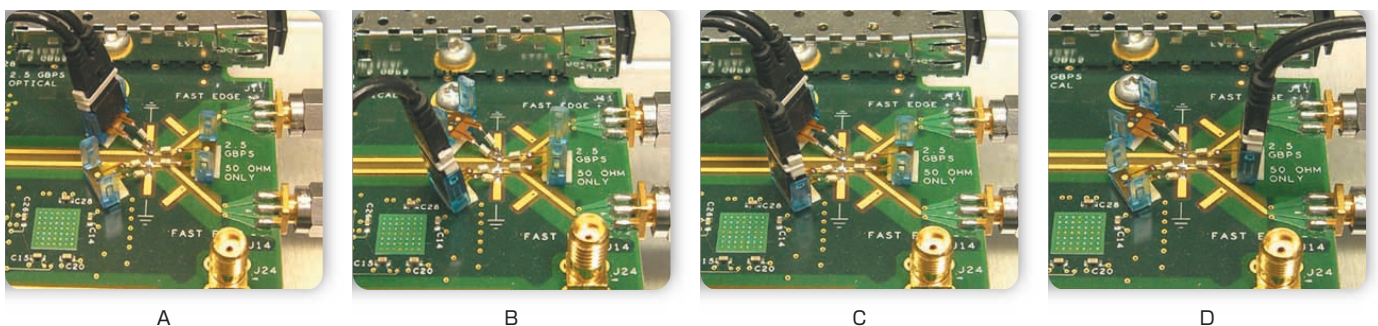
## 課題：

広く普及している高速シリアル・データ信号の多くは、大きなコモン・モード電圧に重畳した、小さなロジック・レベルの電圧スイングを使用しています。この方法を使用する主な理由としては、一つの電源でドライバとレシーバに電源を供給できることが挙げられます。また、差動シグナリングにより、高いデータ・レートで動作する場合でも、低ノイズで小さなロジック電圧スイングを実現することが可能になります。差動信号を使用しているため、シリアル・データ規格では、差動モード、シングルエンド・モード、コモン・モードのそれぞれの測定においてコンプライアンス・テストが必要になります。特性評価や規格適合性でこのような測定が必要となる、最新の物理的なシリアル・データ規格としては、HDMI、SATA、PCI-Expressなどがあります。

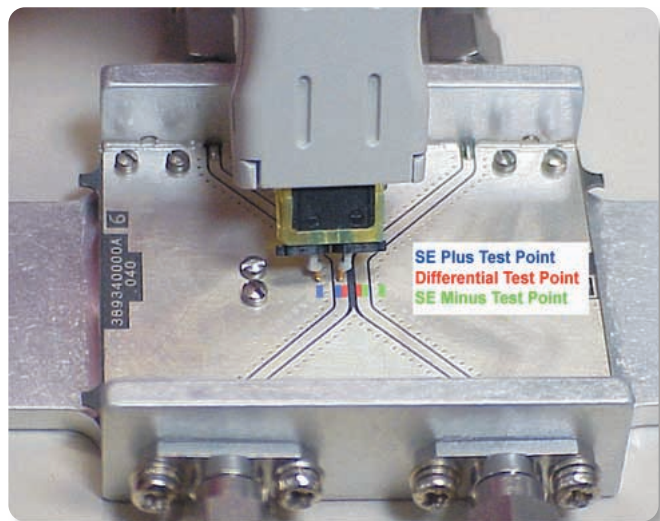
差動信号は、2つの相補的（コンプリメンタリ）シングルエンド信号から成ります。差動信号を完全に評価するためには、差動モード測定、シングルエンド・モード測定、コモン・モード測定が必要ですが、モードごとに異なったテスト・セットアップが必要であり、複数のプローブ、複数のオシロスコープ入力チャンネルが必要になることがあります。またDUT（Device Under Test、被測定デバイス）のレイアウト、テスト・ポイントへのアクセスのしやすさによっては、セットアップにかなりの時間を要する場合があります。DUTへの接続は最も時間のかかる作業である一方、測定とデータ収集に要する時間はわずかなものです。一般的に、最新の高速で複雑な回路基板では、プローブとDUTの接続は簡単な作業ではなく、正しい接続には熟練が必要です。

シングルエンド・プローブ2本とオシロスコープの波形演算機能を使って、差動プローブの機能をシミュレートすることがあります。これは擬似差動測定と呼ばれており、理論的には可能なのですが、実際には次に挙げるような問題や測定誤差があります。

- 1) 販売されている最速のシングルエンド・オシロスコープ・プローブの帯域は6GHzしかありません。6GHzより広い帯域が必要な場合は、差動プローブのみが選択肢となります。
- 2) この擬似差動による差動測定性能は、プローブのマッチングとオシロスコープのチャンネル間マッチングによって制限を受けます。適度なCMRR（Common Mode Rejection Ratio、コモン・モード除去比）を実現するためには、2本のプローブのケーブル長（遅延/スキュー）、減衰比（ゲイン）、周波数帯域、アダプタ・システム、DUT負荷などの電気パラメータの整合がとれていなければなりません。一般的に、2本のシングルエンド・プローブでは、1GHz以上で-30dBのCMRRを実現することすら困難です。
- 3) 十分に整合がとれたプローブであっても、プローブの接続は大変です。再現性があり、正確な測定には、シングルエンド・プローブを正確に接続する必要があり、正確に接続できないと、プローブ間に遅延時間として知られる余分なスキューを発生してしまうことになります。
- 4) 1つの差動測定で2つのオシロスコープ・チャンネルが使用されるため、同時に測定できる差動信号の数が限られます。また、使用するオシロスコープのチャンネルは、十分に整合がとれていなければなりません。入力容量、減衰比（ゲイン）、チャンネル間カップリング、その他の電気的なパラメータは一般に調整できないため、確度を十分に検証する必要があります。
- 5) オシロスコープの信号解析アプリケーションでは、波形演算に制限があります。通常、チャンネル波形に対して有効である演算波形機能が、演算波形には適用されない場合があるからです。



▶ 図1：完全な特性評価には、複数のプローブとセットアップが必要になります。  
(A) 正極性のシングルエンド測定のためのプローブ・セットアップ (B) 負極性のシングルエンド測定のためのプローブ・セットアップ  
(C) コモン・モード測定のためのプローブ・セットアップ (D) 差動測定のためのプローブ・セットアップ

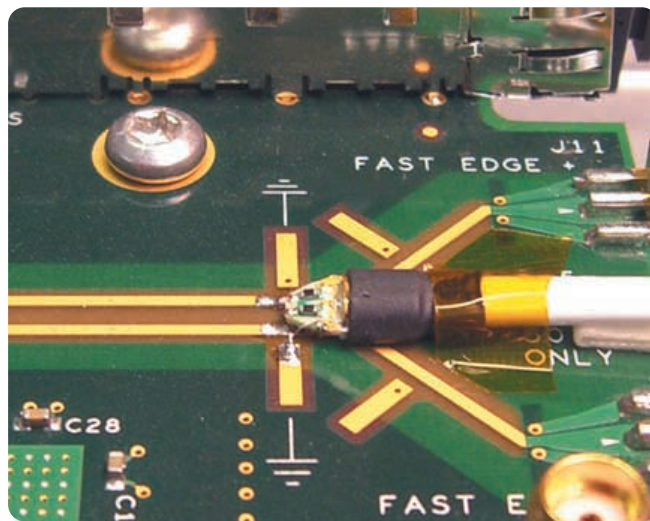


▶ 図2：差動プローブによるシングルエンド測定例

コモン・モード測定では、2本のシングルエンド・プローブを使用します。それぞれのプローブは、差動ペア信号の各コンプリメンタリ信号にプロービングします。この2つの信号を演算機能で加算することでコモン・モード測定を行います。信号の差動成分は互いにキャンセルされてコモン成分のみが残ります。この加算された信号を2で割ってコモン成分を求めます。

差動プローブによる測定は、シングルエンド・プローブに対して大きな利点があります。差動プローブは、プローブ・ヘッドにおける差動アンプのマッチングがとれているために電気的な性能に優れ、オシロスコブのチャンネル数を犠牲にすることもなく、演算することなく差動測定を直接行え、16GHz以上の信号に対応することができます。

差動プローブはシングルエンド測定にも使用でき、通常は負極性のプローブ入力をグラウンドに、正極性のプローブ入力を信号に接続します。シングルエンド測定で差動プローブを使用する利点は、プローブの入力はグラウンドを基準としなくてもよいことです。これは、負極性のプローブ入力に $V_{REF}$ 信号を接続してシングルエンド測定が行えることを意味します。これにより、プローブのオフセット・レンジを超えてしまうような大きなDC電圧に重畳したシングルエンド信号を測定することができます。詳細については、当社アプリケーション・ノート『差動プローブを使用したシングルエンド測定』（部品番号：60Z-18344-0）をご参照ください。

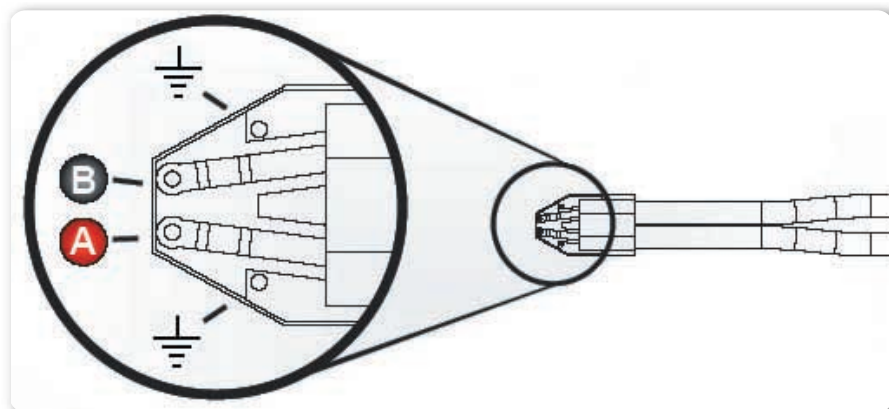


▶ 図3：TriModeによるプローブ接続例。さまざまなプローブを何回もハンダ付けすることなく、シングルエンド、差動、コモン・モード測定が可能になります。

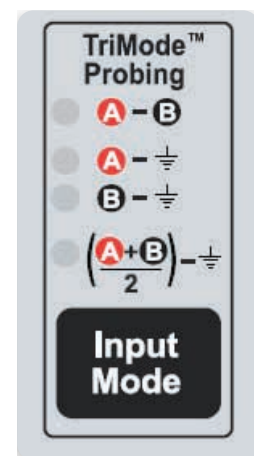
差動プローブは、シングルエンド、差動、コモン・モードのいずれでも使用することができますが、DUTへの物理的な接続方法はそれぞれで異なります。

### TriMode™ソリューション： 同じセッティングで3種類の測定が可能

当社は、このような制約に対して、TriModeプロービング・アーキテクチャにより、完全な差動信号解析を可能にしています。TriModeプロービング機能を装備した当社のP7500シリーズには3種類の入力モードがあり、差動信号を完全に評価し、TriModeによるDUTへの1回の接続で、差動、シングルエンド、コモン・モード測定が必要なコンプライアンス・テストを実行することができます。図1に示す4回のセットアップと、図3に示す一度のセットアップを比較してみてください。一度のセットアップで済むため、差動信号のトラブルシュート、特性評価をすばやく実行することができます。



▶ 図4：TriModeプローブ・チップ (P75TLRST)。TriMode機能を使用する場合は、A、B、およびグラウンドを接続する必要があります。



▶ 図5：P7500シリーズのプローブ・ラベル。各入力モードが選択できます。

### TriModeプロービングの動作原理

シングルエンド・プローブには、信号とグラウンドの2つの入力があります。シングルエンド・プローブを効果的に使用するためには、信号はグラウンドを基準にする必要があります。差動プローブも2つの入力を持っていますが、1つは正のコンプリメンタリ信号であり、もう1つは負のコンプリメンタリ信号です。

TriModeプローブは、シングルエンド・プローブと差動プローブの両方の入力要件をまとめて持っています。TriModeプローブには、正極性の信号、負極性の信号、グラウンドという3種類の入力があります。図4に、TriModeプローブのソルダ・チップとラベルを示します。**A**が正の入力、**B**が負の入力です。グラウンド入力のラベルが2つありますが、TriModeプロービングでは1つの接続で十分です。2つのグラウンドは互いにつながっており、都合の良い方のグラウンドに接続できます。**A**と**B**のみをDUTに接続した場合は、従来の差動プローブのように機能します。グラウンドを接続することでTriMode動作が可能になります。

この3つを接続すると、差動モード、コモン・モード、個々のシングルエンド・モードが選択できるようになります。TriModeプローブの入力モードは、次の4つから選択できます。

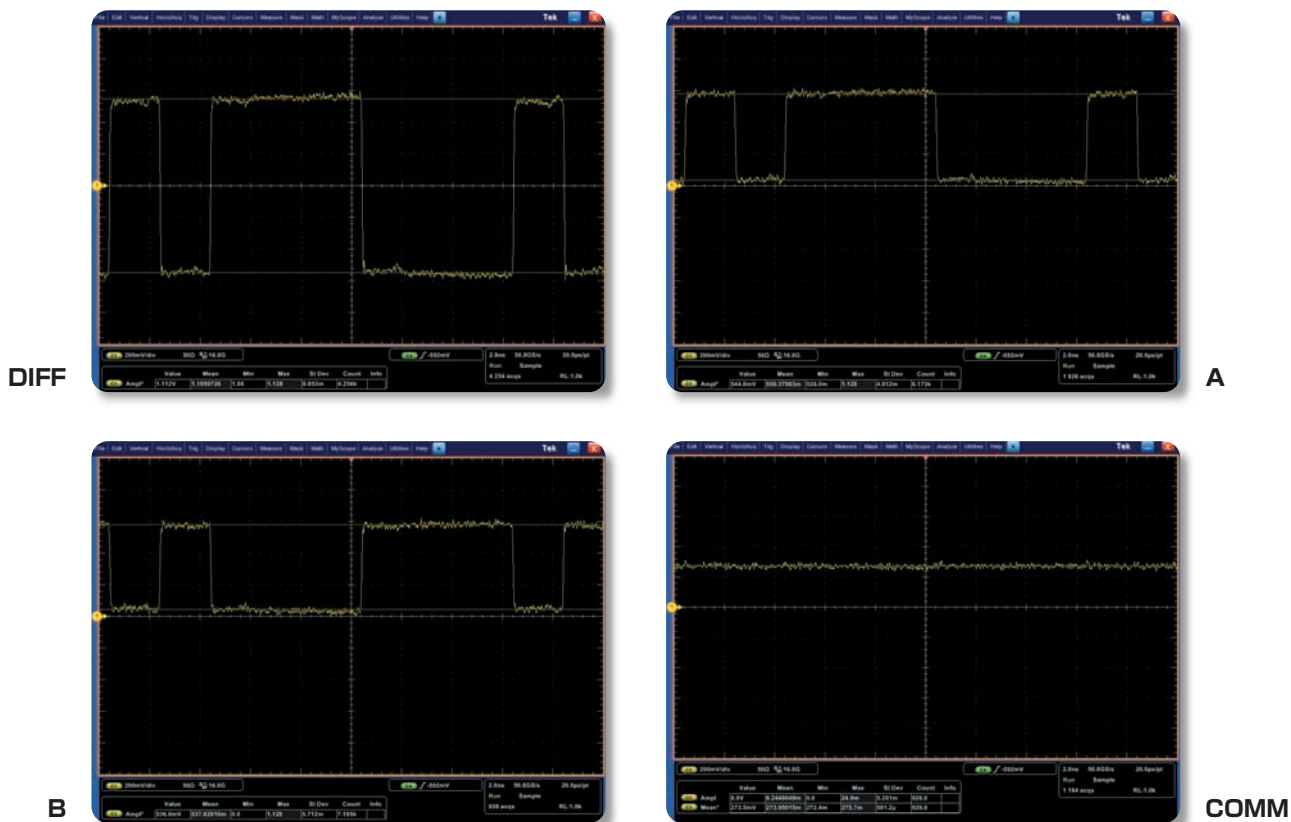
- 1) **A-B** (差動信号測定用)
- 2) **A-GND** (正極性のシングルエンド測定用)
- 3) **B-GND** (負極性のシングルエンド測定用)
- 4) **(A+B)/2-GND** (コモン・モード測定用)

当社は、選択された入力モードの信号をオシロスコープに送るための、独自のTriMode SiGe (シリコン・ゲルマニウム) アンプを開発しました。

これ以降、正極性のシングルエンド・モードを**A**モード、負極性のシングルエンド・モードを**B**モード、コモン・モードを**COMM**モード、差動モードを**DIFF**モードと呼ぶことにします。

各入力モードは、プローブからの操作によって切り替えられます。図5は、プローブの入力モードを切替える操作部を示しています。Input Modeボタンを押すたびに、4つのモードが切替わります。モードごとの動作が図示されています。有効になっているモードの横にはLEDが点灯します。





▶ 図6：P7516型プローブのDIFF、A、B、COMMモードで測定した差動信号の例。

## TriModeプローブの使用法

### DIFFモード

DIFFモードでは、P7500シリーズ・プローブは通常の差動プローブとして機能します。図6に、差動信号の測定例を示します。信号振幅は約1Vであり、グラウンドを画面中央にして表示しています。この差動信号にはDC共通モードのバイアス電圧がかかっていますが、プローブのCMRR（Common Mode Rejection Ratio、共通モード除去比）によって取り除かれています。差動プローブのCMRRにより、2つのコンプリメンタリ入力信号に共通の信号は取り除かれます。

### Aモード

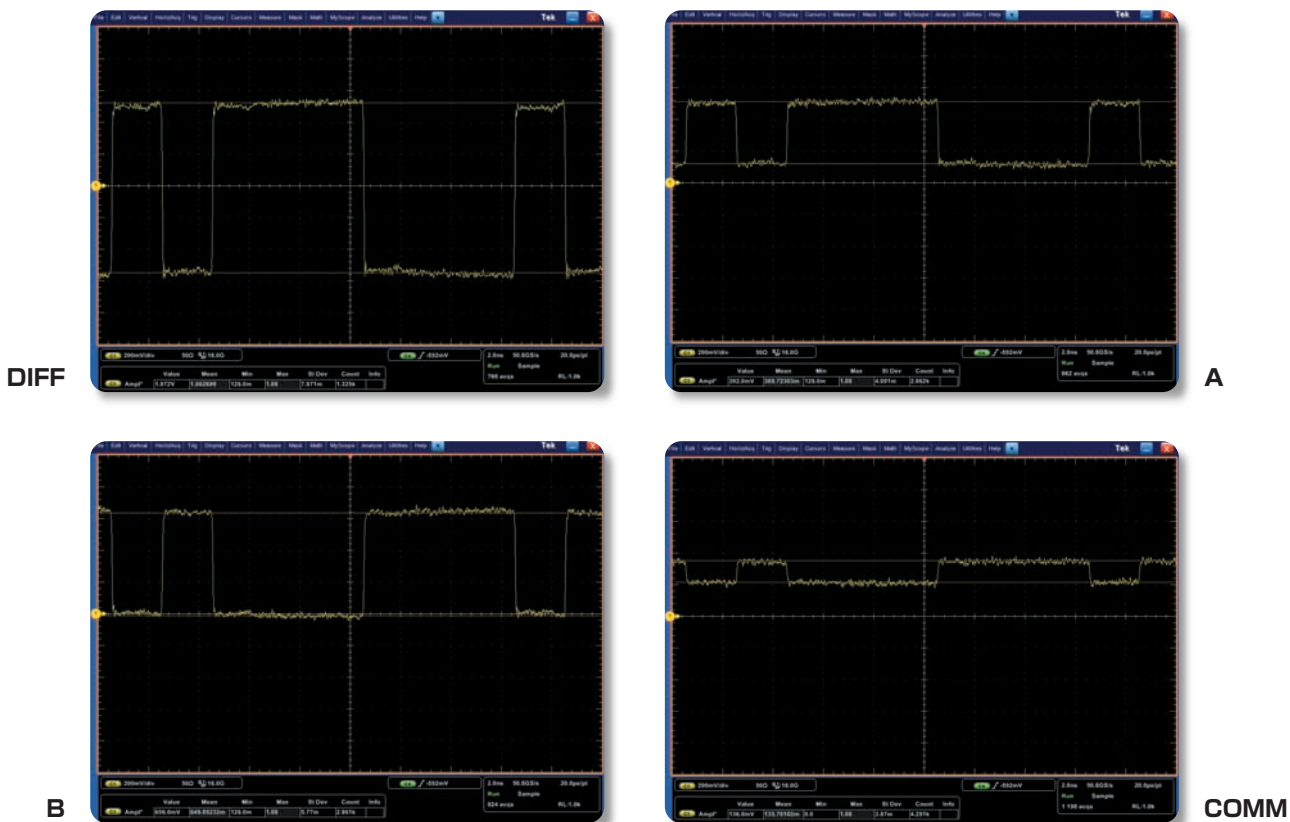
プローブのInput Modeボタンを押してAモードを選択すると、正極性のシングルエンド測定が行えます。信号は、グラウンドを中心に表示されていません。信号には、DCバイアス電圧がかかっていることがわかります。また、信号の振幅測定は約500mVに低下しています。コンプリメンタリ差動ペアの正極性のシングルエンド測定では、波形の形状は差動信号に似ていますが、DCバイアスがかかっていること、振幅が低下している点が異なります。この2つの異なる信号を観測するために、DUTに接続するプローブ・チップを交換したり、プローブを接続しなおす必要はありません。

### Bモード

プローブのInput Modeボタンを押してBモードを選択すると、負極性のシングルエンド測定が行えます。負極性の信号は、図6の正極性の信号（A）と同様のDCバイアス電圧と振幅レベルを持っています。スクリーンショットのビット・パターンから、B信号はA信号とコンプリメンタリな関係にあることがわかります。正極性の信号が1のとき、負極性の信号は0となります。

### COMMモード

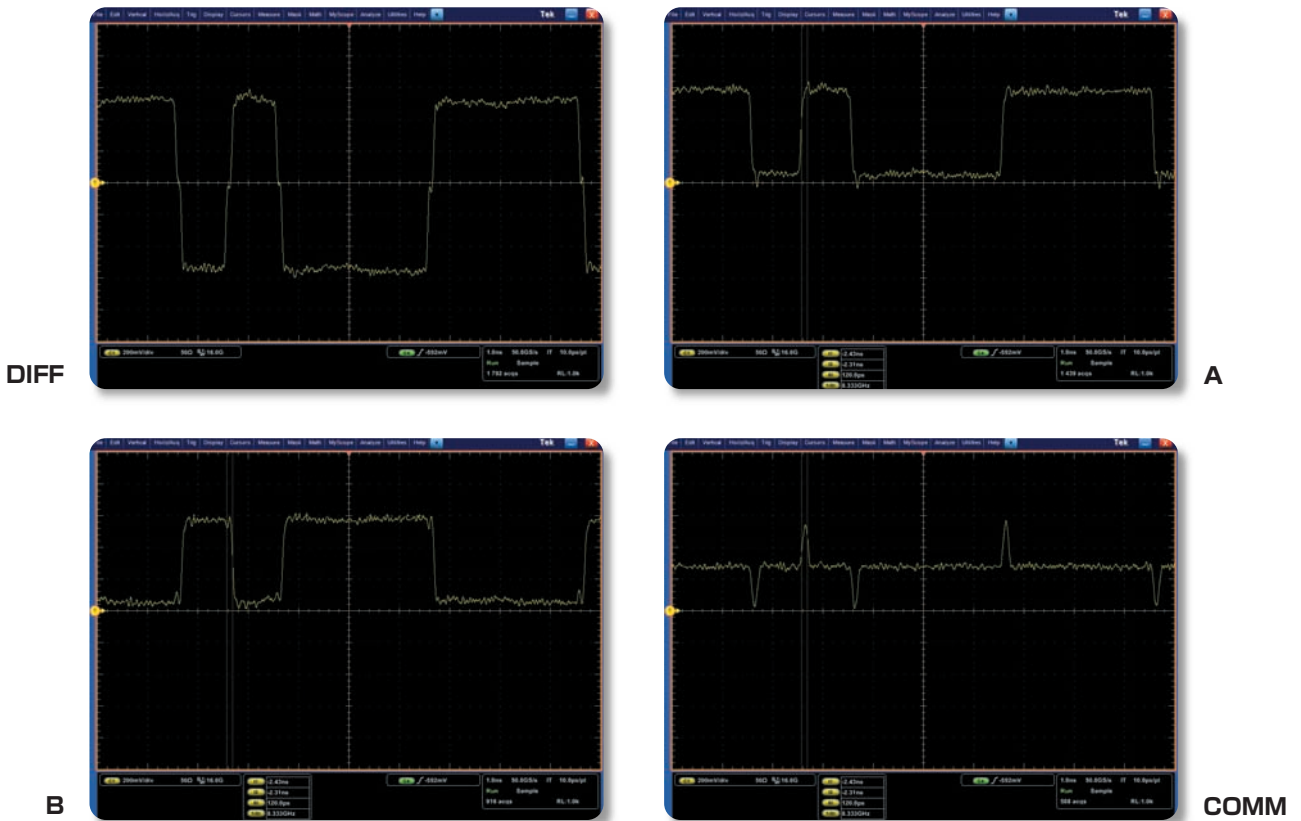
Input Modeボタンを繰り返し押してCOMMモードを選択すると、共通モードで測定できます。プローブのDMRR（Differential Mode Rejection Ratio、差動モード除去比）により、2つのコンプリメンタリ信号間の差分が取り除かれます。オシロスコープには、2つの信号に共通な成分のみが表示されます。図6（COMM）には、差動信号の共通モード測定の例が示されています。表示されているのは、AおよびBで観測されたDCバイアス電圧です。COMMモードでは、ビット・パターンのAC成分は表示されません。これは十分にコンプリメンタリ信号の整合がとれているため、DC共通モードのバイアス電圧のみが表示されている理想的な例です。



▶ 図7：正と負の入力間で電圧レベルの整合がとれていない差動信号の例。

### 整合のとれてない電圧レベル

TriMode機能は、トラブルシュートや特性評価に最適です。図7は、正と負の信号間で電圧レベルの整合のとれていない差動信号の例を示しています。差動 (DIFF) の波形形状は図6のDIFFと良く似ていますが、図7のAとBでは電圧レベルが異なります。Aの電圧は約380mVですが、Bでは約640mVになっています。COMMでは不整合がはっきりと表示されています。コモン・モードの表示では、AC信号が表示されていないのが理想的です。



▶ 図8：正と負の入力間で過度の時間遅延がある差動信号の例。

### 過度のスキュー

図8は、正と負の信号間で過度のスキューがある例を示しています。この時間遅延は、DIFFの波形の立上りおよび立下りエッジに階段状の波形として表れています。さらなる調査が必要な何かが起こっていることがわかります。COMMの波形では、小さなインパルス波形が観測されており、コンプリメンタリ信号間にスキュー問題があることを示しています。別なチャンネルの信号でトリガすることにより、AモードとBモード間のスキューを比較することができます。カーソルで測定すると、入力信号間に約120psのスキューがあることがわかります。この例では、COMMモードでその効果をはっきりとわかるように、入力信号間のスキューは意図的に大きくしています。

## その他のTriMode機能

ここまで説明した基本的な機能以外にも、TriModeには次のような機能があります。

### DUTとの確実な接続

各モードを切り替えることは、プローブがDUTに確実に正しく接続されていることを確認する有益な手段です。従来、プローブの両方の入力、DUTと電氣的に確実に接続されていることを確認することは非常に困難でした。A、Bモードをすばやく切り替えて、各入力に期待通りの信号が入力されていることを確認できるので、プローブとDUTが電氣的に正しく接続されていることを容易に確認できます。初期のセットアップ中にすばやく検証できるため、時間を大幅に節約でき、大量にデータを取ったにもかかわらず結果としてプローブ接続に問題があったということがわかっただけだった、というトラブルを避けることができます。

### 2つの独立したシングルエンド信号の接続

もう1つの利点は、ソルダ・チップによって3種類の信号に接続できるという点です。2つの信号が物理的に近い位置にあれば、2つの独立したシングルエンド信号をプローブ・チップに接続することができます。1つの信号をAに、もう1つをBに接続します。シングルエンド信号はグラウンドが基準になりますので、コモン・グラウンドを接続する必要があります。A、B入力は互いに十分に絶縁されているので、この機能が可能になります。

## TriModeプロービングの実践

TriModeプロービングの機能をフルに使いこなすためには、以下のような注意が必要です。

測定に合ったモードになっていることを常に確認します。プローブの補正ボックスの上面と背面には入力モードのインジケータLEDが付いているので、プローブの入力モードをすばやく確認できます。

TriMode機能をフルに使用する場合は、**A**、**B**、グラウンドの接続が必要になります。現在、P75TLRSTP TriModeロング・リーチ・ソルダ・チップのみが、TriMode機能に対応しています。オプションのハンドヘルド用P75PDPM精密差動プロービング・モジュールはTriModeには対応しておらず、**A**と**B**の差動入力のみです。P75PDPMを使用する場合は、P7500シリーズ・プローブを**DIFF**モードで使用してください。



▶ 図9：P7516型とP75TLRSTソルダ・チップ（左）、P7516型とオプションのP75PDPMプロービング・モジュール（右）。

ソルダ・チップを、グラウンド接続なしの、**A**、**B**接続だけで使用した場合でも、限定的なTriMode機能が有効になります。この限定的なTriMode機能は、個々のコンプリメンタリ信号を目視で検証する場合に適しています。十分に平衡のとれている差動信号は、グラウンドがある場合でも、グラウンド接続に電流を流しません。グラウンド・パスに電流がないことで仮想グラウンドとなり、TriModeプロービングはこの特殊なケースでは正しく機能します。**A**、**B**の入力信号が十分に整合のとれていない差動信号の場合、仮想グラウンドとならず、TriModeプロービングは正しく機能しません。どのような場合でもTriModeプロービングが正しく機能するためには、**A**、**B**、グラウンドの3種類の接続が必要になります。



## アプリケーション例

シリアル・データ規格では、さまざまな差動、シングルエンド、コモン・モード測定が必要になります。各規格には、コンプライアンス・テストのための測定手順が規定されています。手順には、特殊なテスト・フィクスチャ、ケーブル、RFコネクタ、テスト・パッド、パッケージ・ピンなどとの接続方法も含まれています。P7500シリーズ・プローブのTriModeによる新しい機能と接続性は、特にトラブルシュート、デバッグ、特性評価、コンプライアンス・テストに最適なツールです。

TriModeプロービングが有効なシリアル・データの例を、次に挙げます。

### PCI-Express

PCI-Expressのベース仕様では、レシーバとトランスミッタの両方について、詳細を規定しています。ACタイミングと電圧パラメータは、特定の測定ポイントで検証する必要があります。測定ポイントが明確に規定されていない場合は、D+とD-のパッケージ・ピンと仮定します。検証が必要な仕様としては、次のような項目があります。

差動ピーク・ツー・ピーク出力電圧、TX差動出力の立上り／立下り時間、D+とD-のDCコモン・モード電圧の差分の絶対値、TX DC/ACコモン・モード電圧、電気リカル・アイドル時の差動出力電圧のピーク値。P7500シリーズ・プローブのTriModeでは、これらすべての測定が、A、B、グラウンドの1回の接続で行えます。

### SATA

SATAの仕様では、特に指定のない限り、すべての測定は対になるコネクタ・ペアを通して実施するように規定されています。測定では、SATAの入出力コネクタの対になるもう一方のコネクタが搭載された特殊なフィクスチャを使って行われます。検証が必要な仕様項目としては、DCおよびAC結合時のコモン・モード電圧、コモン・モード・トランジェント・セトリング時間、TX差動出力電圧、TX/RX立上り／立下り時間、TX/RX差動スキューがあります。

どちらの規格にも、差動、シングルエンド、コモン・モード測定で検証しなければならない仕様が、この他にも数多くあります。

## まとめ

PCI-Express、SATA、HDMIなどのシリアル・データ規格では、コモン・モード電圧以外にも、差動測定、シングルエンド測定が必要になります。このため、差動プローブのさまざまなプローブ・チップを取り付けたり、外したり、さらに必要な測定のためにそれらのプローブ・チップに複数のプローブを接続しなおすことは、非常に時間のかかる作業です。

TriModeアーキテクチャを装備したP7500シリーズは、プロービングのプロセスを大幅に簡素化します。プローブのセットアップを変更することなく、また追加のプローブの必要もなしに、シングルエンド、差動、コモン・モード測定が切り替えられる、業界で唯一のプローブです。

新型のTriModeプローブ・アーキテクチャは信号取込方法を大幅に改善し、セットアップの時間を削減することで作業をより効率的に、効果的に実行することができます。P7500シリーズTriModeプローブのアーキテクチャには、優れた接続性と共に、従来の優れた広帯域性能も引き継がれています。

TriModeプロービングは、1つのセットアップで3種類の測定を可能にし、測定時間の短縮と効率を改善します。

### P75TLRST TriMode ロング・リーチ・ソルダ・チップ

ソルダ・チップの接続方法

1. 導線をテスト・ポイントにハンダ付けします。
2. ソルダ・チップに導線を通します。
3. ソルダ・チップを基板に近づけて、ソルダ・チップと導線をハンダ付けします。
4. あまった導線を切り取ります。

## TriMode™ プローブ の使用方法

TriMode™プロービングでは、従来の差動モードを測定したり、グランド基準のシングルエンド測定、コモン・モード測定に切り替えることもできます。

**Tektronix P7516**  
TekConnect™ TriMode™ Probe  
15V pk MAX  
BW 16 GHz

5X 12.5X  
Atten.

TriMode™ Probing  
A-B  
A- $\psi$   
B- $\psi$   
 $\frac{A+B}{2}$ - $\psi$   
Input Mode

### P75PDPM 精密差動 プロービング・モジュール

- 角度の調整  
+30°  
-60°
- スプリングの選択  
0.76~2.29mm [30~90mil]  
1.27~4.57mm [50~180mil]
- チップ・スペース  
4.57mm [180mil]  
0.76mm [30mil]

差動測定

A - B =

シングルエンド測定

A -  $\psi$  =

B -  $\psi$  =

コモン・モード測定

$\frac{A+B}{2}$  -  $\psi$  =

差動測定

A - B =

シングルエンド測定

$\psi$  - A =

$\psi$  - B =

コモン・モード測定

$\psi$  -  $\frac{A+B}{2}$  =

ユーザー・マニュアルを参照してください。

▶ TriModeプロービング・クイック・リファレンス・シート

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。  
当社ホームページ([www.tektronix.co.jp](http://www.tektronix.co.jp)または[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com))をご参照ください。

TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

07/07 MH/WOW 512-20874-0

**Tektronix**  
Enabling Innovation