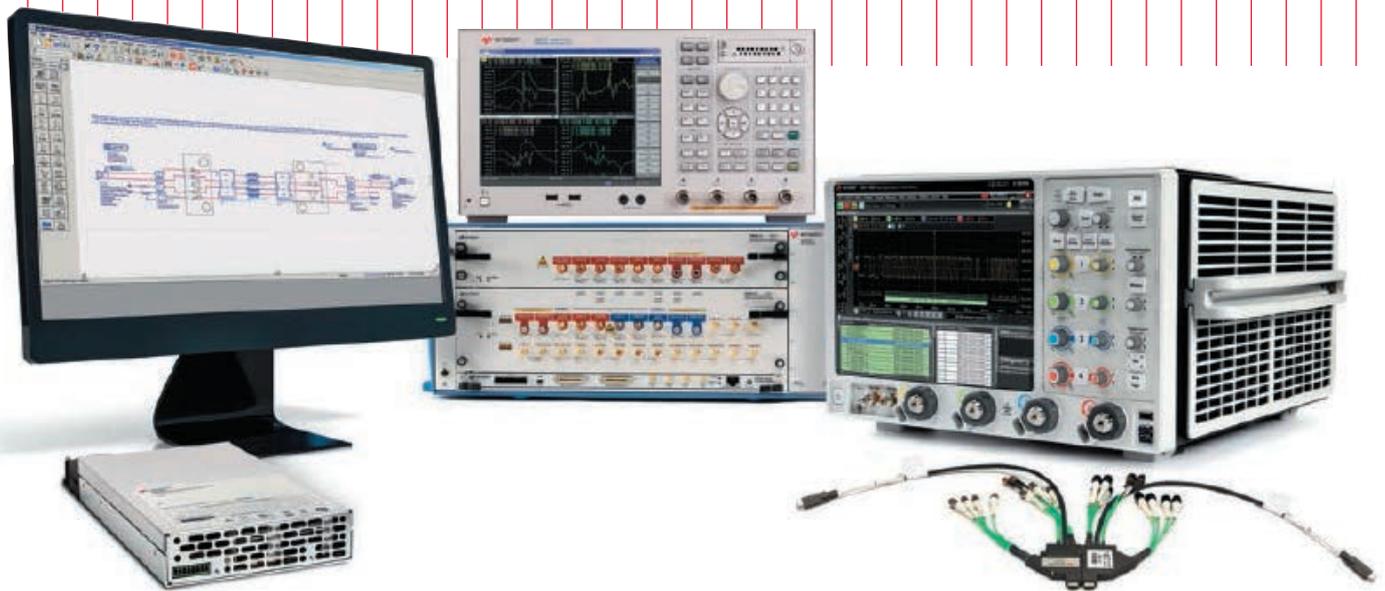


Keysight Technologies

USB Type-C™ PD(Power Delivery)のテスト方法 完成への早道

Application Note



概要

USB Type-C™は、新しいコンピューターやデバイスの小型化／薄型化、データ伝送の高速化、より大きなパワーへの対応、柔軟性の向上への要求に応えるために設計された画期的な規格です。USB Type-Cで改良されたポイントは、デバイス間の接続、パワーの管理、有効なデータ伝送の保証などがあります。USB Type-Cには以下の特長があります。

- 動的なパワーとUSB 2.0および他のプロトコルの伝送が可能
- 新しいデバイスや将来のデバイスの中心的インタフェースとなる能力
- 下位互換性
- どちらの向きでも接続できる使いやすさ

USB Type-Cを製品に組み込むには、相互運用性とコンプライアンスを実現するために、いくつかの問題を解決しなければなりません。USB Type-Cでは、データ伝送の高速化、パワーの増加、機能の追加のために、コンプライアンステスト規格の数が増え、内容も複雑化しています。このため、テストの成功には、規格に準拠した高精度のテスト機器、ソフトウェア、フィクスチャが必要です。

この測定のヒントは、USB Type-Cのデザインとテストに関する問題と解決策に関してさまざまな観点から説明する5つのドキュメントの1つです。シリーズ全体では以下のトピックスを扱っています。

- ケーブルとコネクタ
- 電力供給
- 送信／受信
- シミュレーションと測定の相関
- オルタナート(ALT)モード (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

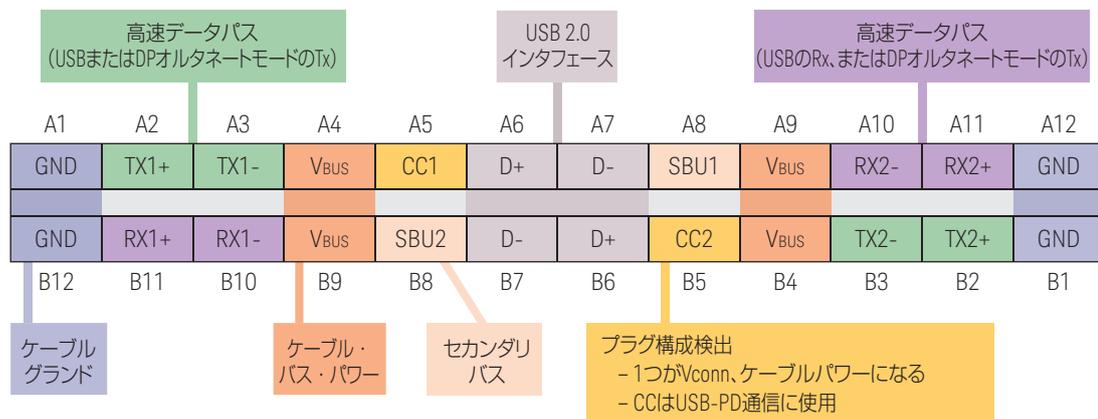


図1. USB Type-Cのピン配列。どちらの向きにも接続できる対称的な構造になっています。

Type-Cの電源供給

USB Type-Cには、PD(Power Delivery)という動的な電源供給システムが組み込まれ、USBの用途がさらに広がります。USBの能力を拡大するために、データ転送機能の拡張に加えて、最大20 V、5 A、100 Wの電源供給が可能になり、充電できるデバイスのタイプが大幅に増えます。USB PDのインテリジェントで柔軟なシステムレベルの電源管理は、接続されたプロバイダー（電力供給側）デバイスとコンシューマー（電力消費側）デバイスの間で方向を切り替えられる双方向の電源供給をサポートしています。この動的な電源供給により、USB Type-Cは、DisplayPortやThunderboltなどの他のビデオ／オーディオ信号規格を、ALTモード経由でサポートできます。

PDの動作の仕組み

最初に、デバイス間でエンドツーエンドのUSB Type-C接続が行われ、コンフィグレーションチャンネル(CC)ライン経由でケーブルの方向が判定されます。USB接続の初期化はPDから始まります。最初の作業として、PDIは、PD回路とe-markチップを搭載したフル機能のType-Cケーブルの間の電気的な接続を通して、接続されたケーブルの機能を認識します。e-markチップはケーブルの構成情報を提供し、ケーブルの電流伝送能力(3 Aまたは5 A)、性能(USB 2.0またはUSB 3.1 Gen 1またはGen 2)、およびベンダー識別(USB Type-CケーブルID機能)に応じた電子的な認識と構成が可能になります。

ケーブル認識の後、PD回路と接続されたデバイスは、専用のCC1/CC2ラインを使用して、BMC(Bi-phase Marked Coding)メッセージを送受信し、パワーネゴシエーションを開始します。USB Type-Cデバイスは、電源に関して、6種類の固定パワープロファイルのうちの1つに構成されます(図2)。デバイスは、必要なパワープロファイルをある時点でPD回路に伝達し、最大5 A、20 Vの特定のレベルの電力を要求します。USB PDは、パワー割り当てを動的に管理し、電圧と電流を調整して、接続されたすべてのデバイスに対してプロバイダー／コンシューマーの役割を設定します。

	プロファイル0 予約	
ハンドヘルドデバイス、今日の周辺機器	プロファイル1 5 V(2 A)	10 W デフォルトの開始プロファイル
タブレット、ノートパソコン、ほとんどの周辺機器	プロファイル2 5 V(2 A)、12 V(1.5 A)	18 W
薄型ノートパソコン、大型周辺機器	プロファイル3 5 V(2 A)、12 V(3 A)	36 W
大型ノートパソコン、ハブ、ドック	プロファイル4 5 V(2 A)、12 V、20 V(3 A)	60 W Micro-B/ABコネクタの上限
ワークステーション、ハブ、ドック	プロファイル5 5 V(2 A)、12 V、20 V(5 A)	100 W 標準A/Bコネクタの上限

1.5 Aまたは5 Vを超える場合は新しい検出可能ケーブルが必要

図2. USB Type-Cのパワープロファイル。

柔軟な双方向充電はUSBでは初めての機能であり、PDによる高電圧／大電流の動的制御により可能になりました。PDは、充電アダプターを使用してデバイスのバッテリーを高速に充電できます。充電アダプターは、Type-Cケーブル／コネクタに応じて、5 Vから最高20 Vまでのいくつかの電圧レベルと、3 Aまたは5 Aの電流を出力することができます。デバイスは、充電中はCC1/CC2ライン経由で高い電圧を要求することができます。充電中のデバイスがある場合は、接続されている他のすべてのデバイスは、必要なパワーの大きさをネゴシエートする必要があります。別のデバイスで追加のパワーが必要な場合は、パワーの再ネゴシエーションが可能です。PDは、低いバッテリー電圧と大きい充電電流に最適化することにより、再充電に必要な時間を大幅に短縮することもできます。PDの双方向電源供給機能により、電源を供給されているデバイスが他のデバイスに電源を供給することもできます。接続されたデバイスの電源管理に加えて、PDはType-Cのオルタナートモードをサポートするためのパワーも管理します。

USB Type-C PDでは、従来より大きな可変のパワーを動的に供給するので、デザインエンジニアがコンプライアンスを実現するために必要な検証とテストの量が大幅に増えています。デバイスに対する双方向パワーの管理に加えて、CC1/CC2ラインの信号を検証して、充電とALTモードの管理(他のD±およびALTモード信号がアクティブな場合)のためのプロトコル伝送が正しいかどうかを確認する必要があります。Type-C PDの動的な給電機能と複数のパワー構成に、USB 2.0、USB 3.1 Gen 1/Gen 2、PDと進化する仕様への適合が加わり、Type-Cデバイスのテスト検証は従来のUSBテストよりもはるかに困難になっています。

テストの課題

PDの仕様は、現在も進化を続けています。ただし、コンプライアンステストの鍵となるテストカテゴリーが、パワー、物理層、プロトコル層である点は変わりません。デザインエンジニアが考慮する必要がある重要なテストパラメータとして、多数の異なる電圧レベル、デバイスの充電、ケーブルの機能、プロバイダーとコンシューマーのデバイスステータスの判定があります。Type-Cデバイスのコンプライアンステストのニーズを明確に理解し、信頼性の高い正確な測定が行える測定システムとソフトウェアを利用することで、最善の結果を効率的に得ることができます。

デバイスのパワーと充電

Type-Cデバイスが「プロファイル2、12 V」などのパワープロファイル(図2を参照)を要求した場合、エンジニアは正しい電圧と電流(またはワット数プロファイル)が適用されることを確認する必要があります。このためには、CCラインのプロトコルが正しいかどうかをモニターして、供給される電圧と電流を測定する必要があります。これを実行するには、CC1/CC2ラインの300 kHzの信号をオシロスコープで測定し、アイダイアグラムを解析します。CCラインコードの解析と調整は、ケーブル電圧が常時変動し、クロストークも存在する可能性があるため、困難な作業になる場合があります。

また、最大20 V/5 A/100 Wによるバッテリーの高速充電と、アダプティブ高速充電の安全性と信頼性を確認するための徹底したテストも必要です。PDのレイアウト検証に関する最大の課題の1つは、ノイズ、リップル、スイッチングが(特に10～20 G信号の場合に)DCパワーインテグリティに与える影響です。電源供給のインテグリティ測定は、オシロスコープを使用して行われ、以下のような種類があります。

- 電源ドリフト
- PARD(周期／ランダムノイズ)：パワーレール上のノイズ、リップル、スイッチング過渡応答
- 静的／動的負荷応答
- プログラマブル・パワー・レール応答
- 高周波トランジェント／ノイズ
- 極端な温度での製品の電氣的検証

電源供給の用語

DFP	Downstream Facing Port(ダウンストリーム向けポート)
UFP	Upstream Facing Port(アップストリーム向けポート)
DRP	Dual-Role Port(デュアル・ロール・ポート)ソースとシンクのどちらの動作も可能
DRD	Dual-Role Device(デュアル・ロール・デバイス)DFPとUFPのどちらの動作も可能
プロバイダー	パワーコンダクター(パワーロール)経由でパワーを供給するPDポート(通常はホスト、ハブ、またはACアダプターのDFP)の能力
コンシューマー	パワーコンダクター(パワーロール)からのパワーを消費するPDポート(通常はデバイスのUFP)の能力
SOP/EOP	Start of Packet/End of Packet(パケット開始/パケット終了)
VDM/VDO	Vendor Defined Message/Vendor Data Object(ベンダー定義メッセージ/ベンダー・データ・オブジェクト)
BIST	Built-In Self-Test(内蔵セルフテスト)物理層を対象とした電源供給テストメカニズム
CC	Configuration Channel(コンフィギュレーションチャンネル)

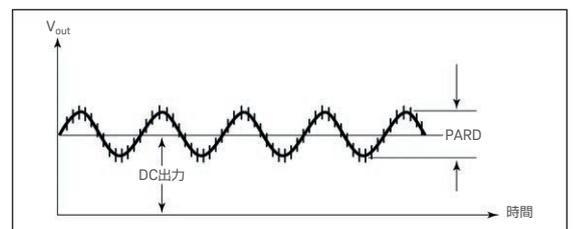
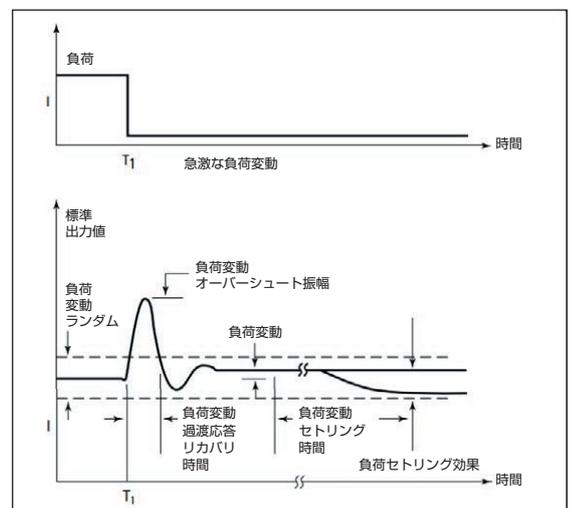


図3. USB PDの代表的なパワーインテグリティ測定：負荷応答、PARD

プロバイダー／コンシューマーを含むケーブルの機能

PDには多くの機能があるため、USB Type-Cケーブルに必要なテストは大幅に増えています。双方向の可変パワー、USBデータ転送、プロバイダー／コンシューマーの役割の割り当て、使用するALTモードなど、すべてのケーブル構成シナリオをテストする必要があります。

テストの最初に、アクティブなType-Cケーブルを検証するために、e-markチップとの間の電圧レベルをテストします。次に、デュアル・ロール・ポート(DRP)デバイスがプロバイダーとコンシューマーのどちらであり、電力の供給と消費のどちらが現在発生しているかを検証します。オシロスコープと電流プローブ、電源、フィクスチャを組み合わせて、立ち上がり時間、立ち下がり時間、電圧、ハイ／ローレベルなどを測定します。

PDのコンプライアンス検証には、セカンダリーバス(SB)、VBUS、GNDなどの他の低速ラインのテストも含まれます。CCラインはシールド付きペアであり、シールドなしのD±ラインおよび最大100 Wのパワーラインとの組み合わせでは、クロストークが発生する危険があります。PDは常時デバイスとの間でパワーのネゴシエーションを行っており、デバイスがCCラインをデコードする間にVBUSとD±が変化するため、構成内部ではきわめて複雑な動作が発生しています。

キーサイトのType-C PDテスト用ソリューション

物理層デバイステスト用の構成の例として、オシロスコープ、プローブ、電流プローブ、USB PDプロトコルソフトウェア、クーポン／フィクスチャ、PDコントローラーを組み合わせたものがあります。

データ転送レートが300 kHzなので、パケット全体のキャプチャーに十分なレコード長を持つ500 MHz以上のKeysight Infiniiumオシロスコープがお勧めです。信号は主にDCですが、ほとんどはAC特性も持つので、オシロスコープはそれに対応できる帯域幅を備えている必要があります。5 V DC電源信号を解析する際には、信号の過渡応答を表示するために、プローブオフセットを使用します。DCブロックを使用すると、DC成分と低周波成分が失われる可能性があります。



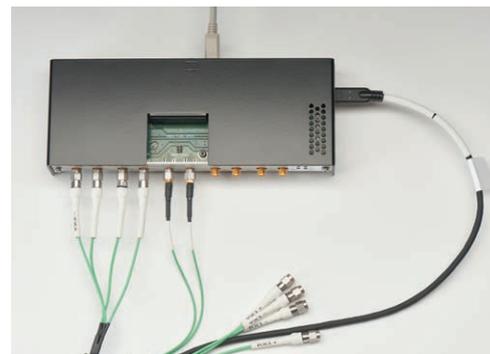
その他の推奨されるテストコンポーネントを以下に示します。

- CC1/2およびVBUSテスト用のN2873Aパッシブプローブ×2
- 負荷電流計測用の1147B電流プローブ
- PDコントローラーおよび関連ソフトウェア／クーポン
- キーサイト電源および負荷。USB PD検証テストには、スルーレート、過渡応答、パワー需要に関する厳格な要件を満たす電源／負荷ソリューションが必要です。キーサイトでは、N6752A(100 W)またはN6786A(80 W)高性能DC電源モジュールおよびN3303A DC電子負荷モジュールを推奨しています。
- キーサイトのN7020Aパワー・レール・プローブは、PD 5 V、10 Vまたは20 Vの解析用に設計され、2 GHzの帯域幅でDC以外の信号の影響を捕捉できます。N7020Aパワー・レール・プローブの特性は、パワーレール測定の主要な課題に対応しています。
 - 1:1の減衰比による低雑音
 - ±24 Vのオフセットで最大24 Vのパワーレールをサポートし、PD 20 Vに対応
 - 50 kΩの入カインピーダンス(DC)で、被測定パワーレールに対するDC負荷を軽減
 - 2 GHzの帯域幅で、クロックとデータのジッタに影響する高周波雑音と過渡信号を捕捉可能



CC1、CC2、VBUS、SBU1、SBU2、グランドなどの低速信号のテストとデバッグには、N7016A Type-C低速信号アクセス/制御フィクスチャをお勧めします。このフィクスチャは、キャプティブType-Cケーブルで高速フィクスチャに接続されます。これにより、ダウンストリームUSBデバイスからUSB 3.1信号を分岐して、システム診断や制御に使用できます。また、高インピーダンス・パッシブ・プローブによる信号ブローピングにより、詳細な信号解析を行うこともできます。

PDライン経由で通信するSOP、SOP'、SOP''プロトコルデコードのデバッグに使用するリアルタイム・プロトコル・トリガ・デコード・ツールとして、キーサイトでは、N8837A USB-PDトリガ/デコードをInfiniiumシリーズオシロスコープ用に用意しています。このUSB-PDプロトコルソフトウェアは、USB PD専用設計されていて、Type-C CC BMCでコード化された300 kHz信号を容易にデバッグできます。このソフトウェアは、プロトコルレベルのデバッグ情報をキーサイトのオシロスコープに提供します。ソフトウェアには、高度なシリアル解析機能によるデコードおよびリストウィンドウ表示、ソフトウェア検索、検索トリガ機能が装備されています。



まとめ

USB Type-C PDIは、双方向のハイパワーと、ALTモードによるUSB以外のデバイスへの電源供給により、USB接続のデバイスの全く新しい可能性を開きます。デザインやテストに携わるエンジニアは、デバイス検証とコンプライアンスのために、さまざまなテスト変数やシナリオを扱う必要があります。テスト数の増加に効率的に対処するには、最適な測定器、フィクスチャ、ソフトウェアを組み合わせる必要があります。また、テストセットアップが容易なこと、正確な電源、負荷、測定を実現することにより、正確なコンプライアンステスト結果を短時間で得ることができます。

キーサイトのType-Cソリューションセット(ソフトウェア、測定器、フィクスチャ)を使用すれば、この汎用的なインタフェースに関連するさまざまな規格の完全なテストを行うことができます。デザインと検証のどちらを行う場合でも、キーサイトのソリューションを利用することで、デバッグから特性評価、コンプライアンス、完成までの道筋が容易になります。



次世代の 専門知識を活用

キーサイトのソフトウェアには、専門知識に裏付けされたノウハウが凝縮されています。キーサイトは初期のデザインから最終製品の出荷に到るまでに必要となるツールを提供し、解析データが有用な情報へ、さらに設計上の知見となることを加速させ、デザインサイクルの効率化に貢献します。

- エレクトロニック・デザイン・オートメーション(EDA)ソフトウェア
- アプリケーションソフトウェア
- プログラミング環境
- プロダクティビティソフトウェア

詳細については、以下のウェブサイトをご覧ください。

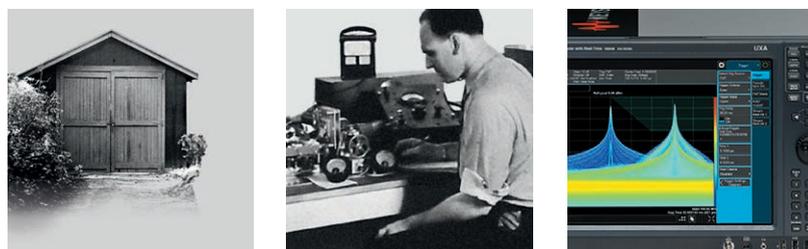
www.keysight.co.jp/find/software

まずは、30日間の無料試用版をお試しください。

www.keysight.co.jp/find/free_trials

ヒューレット・パッカードからアジレント、そしてキーサイトへ

キーサイトは、75年以上もの間、電子計測によって未知なる世界を解き明かしてきました。キーサイト独自のハードウェア、ソフトウェア、スペシャリストが、お客様の次のブレイクスルーを実現します。Unlocking measurement insights since 1939.



1939

未来

myKeysight

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。

AXIe

www.axistandard.org

AXIe (AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test) は、AdvancedTCA® を汎用テストおよび半導体テスト向けに拡張したオープン規格です。Keysight は、AXIe コンソーシアムの設立メンバーです。

LXI

www.lxistandard.org

LXI は、ウェブへのアクセスを可能にするイーサネットベースのテストシステム用インタフェースです。Keysight は、LXI コンソーシアムの設立メンバーです。

PXI

www.pxisa.org

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) モジュール測定システムは、PC ベースの堅牢な高性能測定/自動化システムを実現します。

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2015
Quality Management System

USB Type-C™ および USB-C™ は、USB Implementers Forum の登録商標です。

www.keysight.co.jp/find/usb

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。
ご注文の際はご確認ください。