



TEXAS  
INSTRUMENTS

This EVM is used to evaluate the combination of a high-efficiency 5-A switch-mode buck-boost charger (BQ25798) and the USB Type-C and PD Controller (TPS25750) with integrated switches.

BQ25798 ACTIVE  
iC controlled, 1-4-cell, 5-A buck-boost solar battery charger with dual input selector and MPPT

BQ25756 ACTIVE  
Stand-alone or iC-controlled 70-V bidirectional buck-boost charge controller with MPPT

TPS25751 - NEW ACTIVE  
USB-C® Power Delivery 3.1 controller with moisture detection and programmable power-supply

E-BOOK (PDF)

# USB Type-C® エンジニア ガイド

USB Type-C® と USB パワー デリバリティに関する一連の技術資料

## はじめに

USB Type-C® (USB-C®) は、1 つのインターフェイスを使ってデータと電力の両方を伝送できる業界標準のコネクタです。USB パワー デリバリティ (PD: 電力供給) は、USB-C コネクタを使用する規格であり、(電力伝送に関して) USB-C インターフェイスの機能と特長を強化する役割を果たします。USB PD を使用すると、最大 240W の電力と最大 80Gbps のデータを同時に送信できるようになります。ビデオや他の高度な機能をサポートするために、DisplayPort™ や Thunderbolt のような事前定義済みの代替モード (Alt mode) を実装することもできます。この E ブックでは、USB Type-C と USB PD (Power Delivery) の概要を紹介し、各種アプリケーションとそのデータおよび電力要件を検討します。本書は、USB Type-C と USB PD (Power Delivery) を実装する上で、システム全体の概略を理解するのに役立ちます。

## 目次

|  |    |
|--|----|
| はじめに.....                                    | 2  |
| <b>USB Type-C® の基礎</b> .....                 | 4  |
| 概要.....                                      | 5  |
| USB-C のデータ速度と電力レベル.....                      | 5  |
| データおよびパワー ロール.....                           | 5  |
| USB-C のピン配置とリバーシブル接続.....                    | 6  |
| USB-C ケーブルの検出と方向.....                        | 8  |
| USB PD コントローラが必要とされる場合は.....                 | 8  |
| <b>USB Type-C® の歴史</b> .....                 | 10 |
| 概要.....                                      | 11 |
| USB コネクタの基礎.....                             | 11 |
| USB および USB PD プロトコルの歴史.....                 | 12 |
| USB-C と USB PD の比較.....                      | 15 |
| USB PD 3.1 仕様の進化.....                        | 16 |
| <b>USB Type-C® および USB PD 仕様の序論と概要</b> ..... | 17 |
| 概要.....                                      | 18 |
| USB-C 接続.....                                | 18 |
| VCONN およびメッセージ タイプ.....                      | 19 |
| CC ワイヤ上での USB PD 電力のネゴシエーション.....            | 21 |
| データ ロールの交換.....                              | 23 |
| パワー ロールの交換.....                              | 25 |
| USB PD 代替モードの概要.....                         | 26 |
| EPR の概要.....                                 | 27 |
| <b>USB Type-C® 経由の USB 信号</b> .....          | 28 |
| はじめに.....                                    | 29 |
| Type-C を経由した USB 2.0 信号伝達.....               | 29 |
| LowSpeed と FullSpeed.....                    | 29 |
| 高速.....                                      | 29 |
| LowSpeed、FullSpeed、HighSpeed データ レート.....    | 30 |
| USB 2.0 のシグナル インテグリティ.....                   | 30 |
| USB-C を経由した SuperSpeed 信号伝達.....             | 30 |
| SuperSpeed の起動速度のネゴシエーション.....               | 31 |
| SuperSpeed のシグナル インテグリティに関する課題.....          | 31 |
| <b>USB Type-C® の信号の多重化</b> .....             | 32 |
| USB-C USB 2.0.....                           | 33 |
| USB-C USB 3.....                             | 33 |
| USB PD DisplayPort™ 代替モードの多重化.....           | 33 |
| DisplayPort ソース デバイス (DFP_D) ピン割り当て C.....   | 34 |
| DisplayPort ソース デバイス (DFP_D) ピン割り当て D.....   | 35 |
| DisplayPort ソース デバイス (DFP_D) ピン割り当て E.....   | 35 |
| DisplayPort シンク デバイス (UFP_D) ピン割り当て C.....   | 36 |
| DisplayPort シンク デバイス (UFP_D) ピン割り当て D.....   | 36 |
| DisplayPort シンク デバイス (UFP_D) ピン割り当て E.....   | 37 |

|  |    |
|--|----|
| <b>USB4</b> .....  | 38 |
| USB4 の概要.....  | 39 |
| USB4 の検出および移行プロセス.....   | 39 |
| USB4 システム.....   | 39 |
| サイドバンド通信.....  | 41 |
| USB4 のレーンとデータレート.....  | 42 |
| 損失バジェット.....   | 42 |
| SBU1 と SBU2 を使った DisplayPort 代替モードと USB4 のサポート.....            | 43 |
| <b>eUSB2 の概要</b> .....   | 44 |
| 概要.....  | 45 |
| eUSB2 の概要.....   | 45 |
| eUSB2 モード.....   | 45 |
| その他の特長.....  | 47 |
| <b>拡張電力範囲 (EPR)</b> .....                                      | 48 |
| 概要.....  | 49 |
| EPR とは.....  | 49 |
| 技術仕様.....  | 49 |
| 100W を上回る場合の安全への影響.....  | 50 |
| テキサス・インスツルメンツの PD コントローラと間の電力ネゴシエーションの処理.....                  | 51 |
| まとめ.....   | 52 |
| <b>USB Type-C® と USB パワー デリバリの代表的な使用事例とブロック図</b> .....         | 53 |
| 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし).....                             | 54 |
| 基本機能ブロック.....  | 54 |
| USB 3.0 データ対応 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし).....               | 54 |
| 5V USB-C シンク専用ポート (USB PD なし).....                             | 55 |
| 5V USB-C DRP (USB PD なし).....                                  | 56 |
| USB PD 対応 20V USB-C ソース専用ポート.....                              | 57 |
| USB PD 対応 20V USB-C シンク専用ポート.....                              | 58 |
| USB PD と DisplayPort™ 代替モードに対応した、5V ソース、20V シンク USB-C ポート..... | 59 |
| USB PD とバッテリー チャージャに対応した 20V USB-C DRP.....                    | 60 |
| <b>最終製品のブロック図</b> .....  | 62 |
| 概要.....  | 63 |
| ノート PC と産業用 PC.....  | 63 |
| ドッキング ステーション.....  | 63 |
| Bluetooth® スピーカ.....   | 64 |
| Wi-Fi® ルータとスマート スピーカ.....                                      | 65 |
| 電動工具.....  | 66 |
| <b>テキサス・インスツルメンツの PD コントローラの利点</b> .....                       | 68 |
| 概要.....  | 69 |
| 一般的な設計課題に対するテキサス・インスツルメンツのソリューション.....                         | 69 |
| テキサス・インスツルメンツの PD コントローラを使うことのその他の利点.....                      | 73 |

## USB Type-C® の基礎

- 概要
- USB-C のデータ速度と電力レベル
- データおよびパワー ロール
- USB-C のピン配置とリバーシブル接続
- USB-C ケーブルの検出と方向
- USB PD コントローラが必要とされる場合とは



## 概要

執筆者: Adam McGaffin, Nate Enos, Brian Gosselin

USB Type-C® (USB-C®) は、1 つのインターフェイスを使ってデータと電力の両方を伝送できる業界標準のコネクタです。USB パワー デリバリティ (PD: 電力供給) は、USB-C コネクタを使用する規格であり、(電力伝送に関して) USB-C インターフェイスの機能と特長を強化する役割を果たします。USB PD を使用すると、最大 240W の電力と最大 80Gbps のデータを同時に送信できるようになります。ビデオや他の高度な機能をサポートするために、DisplayPort™ や Thunderbolt のような事前定義済みの代替モード (Alt mode) を実装することもできます。この章では、この E ブックを通してより高度なトピックを取り扱うための土台として、USB-C の基礎について説明します。

## USB-C のデータ速度と電力レベル

表 1 に、USB データ転送に関連する各仕様の最大転送レートを示します。規格は、1.5Mbps (LowSpeed) と 12Mbps (FullSpeed) をそれぞれサポートする USB 1.0 と USB 1.1 から始まりましたが、USB 3.1 Gen 2 では 10Gbps (SuperSpeed+) をサポートするまでに進化しました。

表 1. USB 仕様と最大電圧、電流、電力

| 仕様                  | データレート名     | 最大データ転送レート |
|---------------------|-------------|------------|
| USB 1.0 および USB 1.1 | 低速度         | 1.5Mbps    |
|                     | フル スピード     | 12Mbps     |
| USB 2.0             | 高速          | 480Mbps    |
| USB 3.0             | SuperSpeed  | 5Gbps      |
| USB 3.1             | SuperSpeed+ | 10Gbps     |

表 2 に、USB 2.0 から始まり USB PD 3.0 に至る USB 電源の進化を示します。全体的な傾向として、プラットフォームとデバイスに対するニーズの高まりに対応するため、最大電力を増やしてきました。USB PD を使わない場合、USB-C のみで最大 5V、3A (15W) をサポートできます。しかし、USB PD を使うと、USB-C エコシステム内で最大 48V、5A (240W) をサポートできます。

表 2. USB-C と USB PD の電力レベル

| 仕様                  | 最大電圧 | 最大電流  | 最大電力  |
|---------------------|------|-------|-------|
| USB 2.0             | 5 V  | 500mA | 2.5 W |
| USB 3.0 および USB 3.1 | 5 V  | 900mA | 4.5 W |
| USB バッテリー充電 1.2     | 5 V  | 1.5A  | 7.5 W |
| USB-C 1.2           | 5 V  | 3A    | 15 W  |
| USB PD 3.0          | 20 V | 5A    | 100 W |
| USB PD 3.1          | 48 V | 5A    | 240 W |

## データおよびパワー ロール

USB 接続でのデータフローには、次の 3 種類があります。

- ダウンストリーム側ポート (DFP)** はデータを下流に送信します。通常は、デバイスが接続するホストまたはハブのポートです。DFP は VBUS 電力 (ホストとデバイスとの間のパワー パス) を供給し、(電子的に印が付いたケーブルに) VCONN 電力を供給することもできます。DFP を使う可能性があるアプリケーションの例として、ドッキング ステーションが挙げられます。

- ホスト、またはハブの DFP に接続する**アップストリーム側ポート (UFP)** は、デバイスまたはハブ上でデータを受信します。これらのポートは通常 VBUS をシンクします。UFP を使う可能性があるアプリケーションの例として、ディスプレイ モニタが挙げられます。
- **デュアル ロール データ (DRD)** ポートは、DFP (ホスト) と UFP (デバイス) のどちらかとして動作できます。接続時のポートのパワー ロールが、そのポートの初期ロールを決定します。ソース ポートは DFP のデータ ロールを担い、シンク ポートは UFP のデータ ロールを担います。ただし、USB PD データ ロール スワップを使うと、ポートのデータ ロールを動的に変更できます。DRD ポートが使われる可能性があるアプリケーション例にはノート PC、タブレット、スマートフォンが含まれます。

USB 接続での電力フローには、次の 3 種類があります。

- **シンク**とは、接続された場合に VBUS からの電力を消費するポートです。シンクはほとんどの場合デバイスです。シンクには、USB キーボードなどの USB ペリフェラル、ヘッドホンなどのコンシューマ製品が含まれます。
- **ソース**とは、接続された場合に VBUS 経由で電力を供給するポートのことです。一般的なソースはホストまたはハブの DFP です。ソース アプリケーションの例として、USB-C ウォール チャージャが挙げられます。
- **デュアル ロール パワー (DRP)** ポートは、シンクとソースのどちらかとして動作することができ、これらの 2 つの状態を切り替えることができます。DRP が最初にソースとして動作している場合、そのポートは DFP のデータ ロールを担います。一方、DRP が最初にシンクとして動作している場合、そのポートは UFP のデータ ロールを担います。ただし、USB PD パワー ロール スワップを使うと、ポートのパワー ロールを動的に変更できます。たとえば、ノート PC には、ノート PC のバッテリーを充電するための電力を受け取ることができる DRP ポートが内蔵されていることがあります。DRP ポートは外部アクセサリを充電するための電力を供給することもできます。

また、DRP には次の 2 つの特殊なサブクラスがあります。

- ソース デバイスは電力を供給できますが、DFP として機能することはできません。このサブクラスの 1 つの例として、ノート PC の DFP からデータを受信するだけでなく、ノート PC の充電も行う USB-C および USB PD 対応モニタが挙げられます。
- シンクとしてのホストは電力を消費することができますが、UFP として機能することはできません。たとえば、アクセサリから電力の供給を受けながら、そのアクセサリにデータを送信するハブの DFP が挙げられます。

## USB-C のピン配置とリバーシブル接続

USB-C コネクタには、USB Type-A および Type-B コネクタにはない複数の新しいピンが含まれます。これらのピンは、大電力、代替モード、リバーシブル接続などの USB-C 機能を実現します。図 1 に、ピン配置を示します。

図 1 の左から、

- GND: 信号のリターン パス。
- TX および RX: USB 3.1 データ (5Gbps~10Gbps) 用 SuperSpeed ツイストペア。
- VBUS: メイン システム バス (5V~48V)。
- CC1 および CC2: ケーブルの検出、方向、電流アダプタに使用される CC ライン。USB PD を使って、CC ラインはより高い電力レベルと代替モードを伝えることもできます。CC ラインの 1 つは VCONN になる可能性があることに注意します。
- SBU1 および SBU2: これらは代替モードとアクセサリ モードにのみ使用される低速ラインです。たとえば、DisplayPort の場合、AUX+ と AUX- は SBU ラインを経由して送信を行います。オーディオ アダプタ アクセサリ モードでは、これらのラインはマイクロフォン入力とアナログ GND に使用されます。

- D+ および D-: USB 2.0 データ (最大 480Mbps) 用高速ツイストペア。

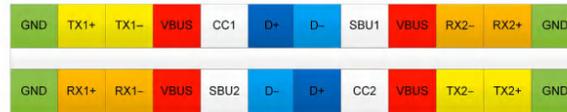


図 1. USB-C レセプタクルのピン配置

USB-C コネクタの新しい特徴は、ピンがほぼ対称 (垂直方向と水平方向の両方) であることです。そのため、コネクタをリバーシブルにできます。残念ながら、受動的にリバーシブル接続を実現することはできないため、追加の電子回路が必要です。図 2 に、USB-C レセプタクル (上) と USB-C プラグ (下) が本質的に互いに反転している様子を示しています。

- GND ラインと VBUS ラインは、依然として同じ位置にあります。
- D+ と D- のペアは同じ向きですが、プラグには D+ と D- のツイスト ペアが 1 つのみ含まれます。USB-C 仕様は、レセプタクル側の D+ ラインと D- ラインの短絡 (D+ と D+, D- と D-) を許容しています。ケーブルの向きにかかわらず、物理層 (PHY) は常にケーブルの D+ と D- のペアを認識します。
- CC1 および CC2 ラインは反転されており、ケーブルの向きを決定できます。方向によって、接続する CC ラインと、オープンのままにする CC ラインが決まります。
- TX ペアと RX ペアも反転されます。これを解決するのは、もう少し複雑でした。D+ ラインと D- ラインとは異なり、共通ラインを単純に短絡すると、スタブが形成されるため、それはできません。USB 2.0 の速度ではスタブは許容されますが、USB 3.1 の速度では、スタブはシグナル インテグリティを過度に低下させます。これを回避するには、次の 2 つの方法があります。
  - 2 つの PHY とケーブル方向検出機能を使って、どちらの PHY を使うべきかを判断します。
  - 1 つの PHY と、(方向が既知であるとして) 適切な SuperSpeed ラインを PHY に切り替える SuperSpeed マルチプレクサを使います。これは通常、より経済的な解決策です。
- SBU ラインも反転しますが、これは通常代替モード PHY 内で処理されます (これらは低速ラインであることに注意します)。



図 2. USB-C ピン配置: レセプタクル (上)、プラグ (下)

## USB-C ケーブルの検出と方向

USB-C 仕様に導入された構成チャネル (CC) ロジックブロックは、ケーブルの検出、ケーブルの方向、電流能力を判断します。以下の用語を定義します。

- **ケーブル検出**は、2 つの CC ラインのどちらかがプルダウンした際に行われます (図 3 を参照)。DFP はその両方の CC ピンを抵抗  $R_p$  でプルアップし、UFP はその両方の CC ピンを抵抗  $R_d$  でプルダウンします。DFP プロセッサがその CC ラインの一方がプルダウンされたことを検出すると、その DFP は、接続が行われたことを認識します。
- **ケーブルの方向**は、どちらの CC ラインがプルダウンしているかによって判断されます (CC1 がプルダウンしている場合、ケーブルは反転していません。CC2 がプルダウンしている場合、ケーブルは反転しています)。非アクティブ ケーブルの場合、残りの CC ラインはオープンのままです。アクティブ ケーブルの場合、残りの CC ラインは  $R_a$  でプルダウンします。
- $R_p$  の値は**電流能力**を決定します。USB-C は、1.5A と 3A のどちらかをネイティブでサポートできます。DFP は、特定の値のプルアップ抵抗を使って、その電流能力をアダプタイズできます。UFP は、接続された際に  $R_p$  と分圧器を形成するように、固定値のプルダウン抵抗 ( $R_d$ ) を備えています。UFP は分圧器の中心タップの電圧を検出することで、DFP のアダプタイズされた電流を検出できます。

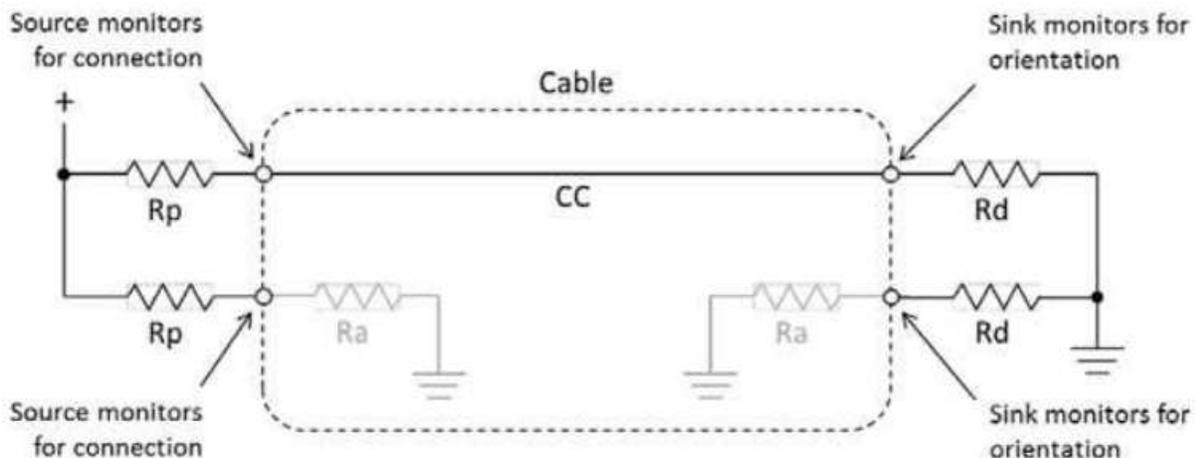


図 3. CC ロジックのプルアップおよびプルダウン終端。(出典: USB Type-C 仕様 v1.2、図 4 および 5 プルアップおよびプルダウン CC モデル)

## USB PD コントローラが必要とされる場合とは

USB PD は、USB-C コネクタを使う規格です。そのため、USB PD コントローラをいつ使う必要があるのかと疑問に思うかもしれません。システムの要件に次の 3 つのシナリオのいずれかが含まれている場合、USB PD コントローラが必要です。

- **5V より高い電圧をネゴシエーションする**。最大電力が 15W 未満であっても、5V を上回る電圧をネゴシエーションするには、USB PD コントローラが必要です。たとえば、お客様のシステムが 15W を必要としているが、5V しか必要としない場合、USB PD コントローラは不要です。しかし、システムが 10W しか必要としなくても、9V が必要な場合、9V のコントラクトをネゴシエーションするために USB PD コントローラが必要です。
- USB-C コネクタで **DisplayPort などのビデオをサポートするには**、USB PD コントローラが必要です。
- **パワー ロールとデータ ロールが一致していない**。各種データおよびパワー ロールを設定する必要がある場合、USB PD コントローラ (UFP ソース) が必要となります。その好例がドッキングステーションです。ドッキングステーションは、ノート PC を充電

するための電源として機能しますが、ビデオと USB データを受信するための UFP としても機能します。これは、パワー ロール スワップとデータ ロール スワップを使うことで行われます。

## USB Type-C® の歴史

- 概要
- USB コネクタの基礎
- USB および USB PD プロトコルの歴史
- USB-C と USB PD の比較
- USB PD 3.1 仕様の進化

### Type-A



usbtypec.info

### Type-B



### Type-C



usbtypec.info

## 概要

執筆者: Taylor Vogt

このセクションでは、USB Type-C® (USB-C®) と USB PD (Power Delivery) の変遷の背景を理解するための一助として、USB プロトコルの歴史について説明します。最初に、USB Type-A と USB Type-B の定義について説明し、USB プロトコルが最新の PD 3.1 仕様まで経時的にどのように進化したかを説明します。

## USB コネクタの基礎

プロトコル自体について説明する前に、時間の経過とともにさまざまな形態を取ってきたインターフェースにとって、コネクタは重要な媒体であることを強調したいと思います。今後さらに進化する USB プロトコル機能がすべての機能セットを獲得する上で、USB-C コネクタが必須であることに気付くことは重要です。図 4 に、USB-C につながる各種 USB コネクタを示します。

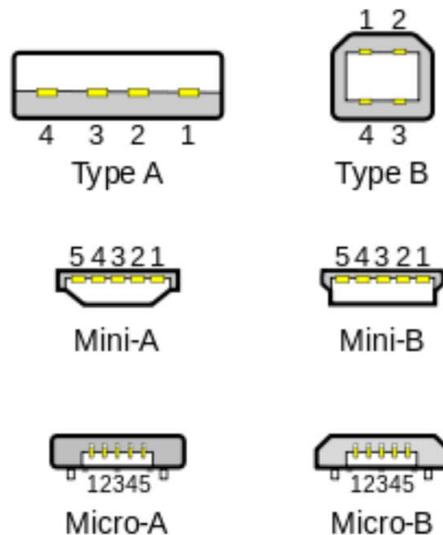


図 4. USB コネクタの概要

## USB Type-A

最も一般的な USB 規格として広く知られているのは、1996 年頃に使われ始めた USB Type-A です。デスクトップコンピュータ、ゲームコンソール、メディアプレーヤなどのホストデバイスで USB Type-A ポートは使われています。

## USB Type-B

USB Type-B コネクタは、スマートフォン、プリンタ、ハードドライブなどの周辺機器に接続する一般的な USB ケーブルの一端にあります。USB Type-B コネクタは、通常は他端で Type-A によって PC に接続されたデバイスを制御するために、1996 年に発表されました。

## USB-C

USB-C は、2015 年頃、携帯電話とノート PC の人気のある複数のブランドの製品に実装されました。USB-C は、コネクタのリバーシブル接続による使いやすさと小型化の実現という観点で、薄型で流線形のデバイスへの影響を最小化するため、革新的な設計を採用しました。図 5 に、USB Type-A から USB Type-C までの USB ケーブルの進化を示します。また、図 6 に、USB-C コネクタ自体の詳細を示します。

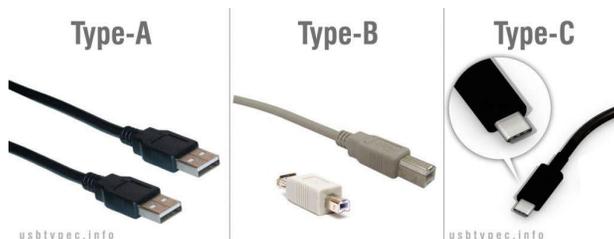


図 5. USB ケーブルの概要

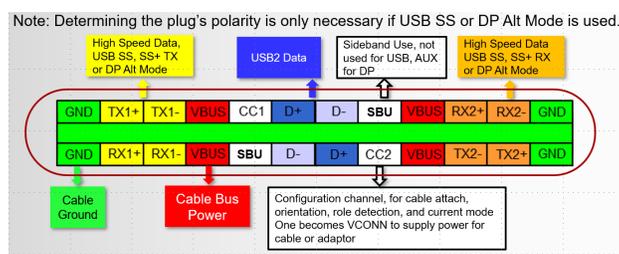


図 6. USB-C コネクタの概要

## USB および USB PD プロトコルの歴史

プロトコル自体については、現在、USB-IF (USB Implementers Forum) によって定義された合計 6 つの USB 仕様(USB 1.0、2.0、3.0、3.1、3.2、4.0)があります。ただし、USB 1.0 は実質的には使用されていません。そのため、USB 2.0 から USB 4.0 までが、現在参照されている規格です。

2012 年、最初の USB PD 1.0 仕様が発表されましたが、すぐに 2014 年には、USB-C コネクタの使用を規定し、5 つのサポート可能な電源レベル(15W、27W、45W、60W、100W)の技術的詳細の一部を整理するため、USB 2.0 バージョンが発表されました。

USB PD 3.0 は 2018 年に発表され、幅広いデバイスに適合するように、規格に柔軟性が追加されました。バッテリーの状態の監視、セキュリティの強化、高速なロール交換などの機能をサポートするため、通信プロトコルが改良されました。また、プログラマブル電源 (PPS) プロトコルも導入され、20mV のきめ細かい刻みの電圧レベルを実現しています。この結果、電圧レベルの微調整を必要とする高速充電アプリケーションのためのカスタム電圧ネゴシエーションが可能になりました。

2021 年、USB PD 3.1 仕様が発表されました。これは、USB-C ケーブルおよびコネクタを経由して最大 240W の電力を供給することを可能にする主要な更新でした。100W~240W の電力は拡張電力範囲 (EPR) と呼ばれていますが、以前の USB PD 範囲は、現在、標準電力範囲 (SPR) と呼ばれています。

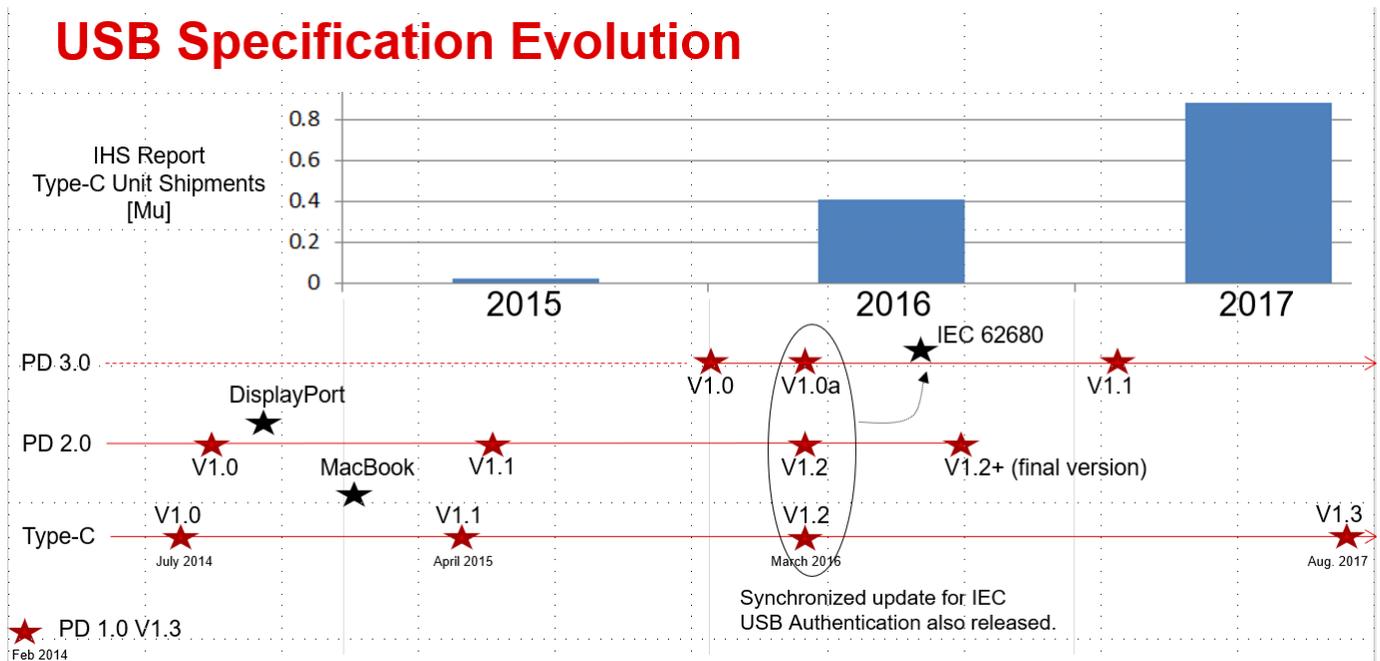


図 7. USB 仕様の進化

従来の USB プロトコルとは対照的に、USB 4.0 規格では、サポートされる機能の増加を前提として、USB-C コネクタが必須とされています。また、USB 4.0 の新しい進歩として、DisplayPort™ と PCI Express (PCIe) が使用できます。

後の章で詳細に説明しますが、概念的に、USB および Thunderbolt 技術のいくつかの側面を以下に示します。

- USB 3.2:
  - USB 3.2 Gen 1 (以前の USB 3.0)、SuperSpeed (最大 5Gbps)。
  - USB 3.2 Gen 2 (以前の USB 3.1)、SuperSpeed (最大 10Gbps)。
  - USB 3.2 Gen 2x2 (実際の USB 3.2)、SuperSpeed (最大 20Gbps)。
  - 10Gbps の 2 レーンを使って 20Gbps の データ レートを実現するマルチレーン動作。
  - USB PD 電力コントラクトは不要。
- Thunderbolt 3:
  - USB (2.0、3.0、3.1)、PCIe、DisplayPort を 1 つのインターフェイスに統合。
  - USB PD コントラクトが必要。
  - Intel の Thunderbolt 3 代替モードがネゴシエーションされると有効化。
- USB 4.0:
  - 既存の USB-C ケーブルを使用した 2 レーン動作と、最大 40Gbps の動作。
  - USB 3.2、USB 2.0、Thunderbolt 3 と下位互換。
  - USB PD 電力コントラクトが必要。
  - 代替モード移行とは無関係。

図 8 に、USB データ転送速度の比較を示します。

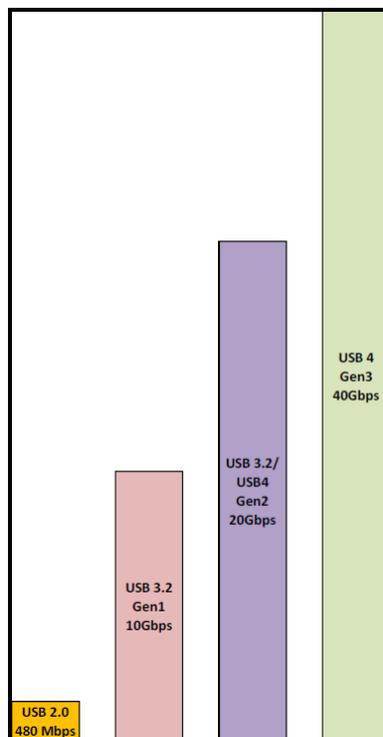


図 8. USB データ転送速度

USB ネットワークを単純化するため、1つのホストと1つのデバイスが存在するものとします。通常、PCはホストであり、スマートフォン、タブレット、カメラはデバイスです。データと電力に関しては、電力はホストからデバイスに流れ、データは両方向に流れることができます。

USB 1.0 および 2.0 規格のダウンストリームポートは最大 480Mbps のデータレートと最大 500mA (0.5A) の電流に対応できません。USB 3.0 は最大 5Gbps のデータレートと最大 900mA (0.9A) の電流に対応できます。これらの電力出力仕様は、各標準出力の 5V に基づいた定格です。ただし、専用 USB 3.0 充電および充電ダウンストリームポートは最大 1500mA (1.5A) を供給します。これは 7.5W に相当します。

## USB-C と USB PD の比較

基本的に USB-C は、システムに接続するために使用されるコネクタ ハードウェアを直接指し、USB PD はプロトコルを指します。USB-C について言えば、それは電力、ビデオ、データの転送を同時に行う最新の USB インターフェイスです。USB-C は外観上 USB Type-A コネクタより小さく、リバーシブル接続が可能です。その強化された機能セットにより、1 つの USB-C コネクタはシステム内の既存デバイスの複数のコネクタを置き換えることができます。

デフォルトでは、USB-C コネクタは 5V および 3A の電源ドメインで動作し、それほど大きい電力を必要としないアプリケーションなどで使用されます。ただし、USB-C コネクタを使用すると、USB PD プロトコルを使うことができます。このプロトコルは、USB バッテリ充電 1.2 仕様の 2 倍 (最大 100W (20V、5A)) の電力を供給できます。USB PD は、DisplayPort、USB-C ケーブルを使用した Thunderbolt などの代替モードによって、高帯域幅のビデオ / データレートに対応しています。図 9 に、各種電力モードと、それらが実装されているシーケンスを示します。

| Precedence | Mode of Operation         | Nominal Voltage | Maximum Current |
|------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| Highest    | USB PD                    | Up to 20 V      | Up to 5 A       |
|            | USB Type-C current @ 3A   | 5 V             | 3 A             |
|            | USB Type-C current @ 1.5A | 5 V             | 1.5 A           |
|            | USB BC1.2                 | 5 V             | Up to 1.5 A     |
|            | USB 3.1                   | 5V              | 900 mA          |
| Lowest     | USB 2.0                   | 5V              | 500 mA          |

図 9. 電力モードの優先順位

USB-IF 仕様は、システムが USB PD コントラクトに入るために必要な手順を含めて、USB PD プロトコルについて詳細に規定しています。USB PD コントローラがこれらの手順を実行できることは、一目で分かりますが、ポートがソースとシンクのどちらかによって、別々の命令が存在します。ソースはまず、複数の目標電力供給オブジェクト (PDO) を使ってその電力能力をアドバタイズし、シンクはそれらのうちの 1 つを要求します。ソースはこの要求を受け入れる必要があり、シンクは USB PD コントラクトに入るために肯定応答する必要があります。図 10 に、このネゴシエーション シーケンスを示します。

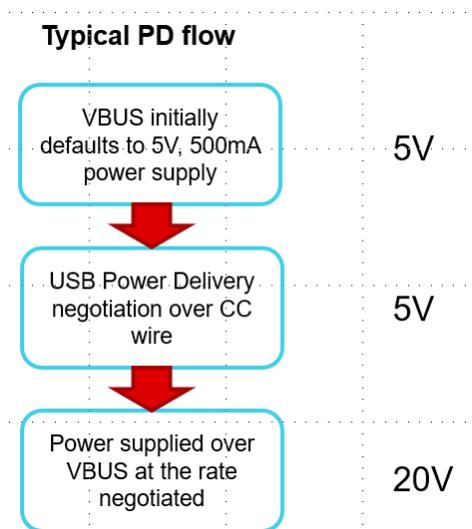


図 10. USB PD の電力ネゴシエーション シーケンス

USB-PD を有効化するために USB PD コントローラを使用することが理にかなっている理由を以下に示します。

- 高電圧 – 最大 20V – 一方、5V、9V、15V もほとんどのエンド ユーザーの要求を満たします。(最新の USB PD 仕様には 28V、36V、48V が含まれます。)
- USB ケーブルで最大 100W の電力を供給 (最新の USB PD 仕様では、EPR を含む場合は 240W)。
- 電力を供給するポートはネゴシエーション可能。下向きポートはプロバイダまたはコンシューマになることができ、上向きポートもプロバイダまたはコンシューマになることができます。
- 複数のペリフェラルにわたる効率的なパワー マネージメント。
- 電力を節約するため、コールド ソケットを備えた下向きポート。
- 従来の USB 製品との共存が可能。
- 代替モードに対応可能。

### USB PD 3.1 仕様の進化

後の章では、PD3.1 と拡張電力範囲について詳しく説明します。USB-IF によってまとめられた主な機能を以下に示します。

- 新しい 28V、36V、48V 固定電圧は、それぞれ最大 140W、180W、240W の電力レベルを可能にします。可変電源電圧モードを使うと、15V とチャージャの利用可能な最大固定電圧との間の中間電圧を要求する機能を使って本デバイスに電力を供給できます。
- 電力の方向はもはや固定されていません。つまり、製品ホストとペリフェラルのどちらかが電力を供給できます。
- 追加の要求が発生しても、確実に電力を利用できるように、各デバイスは最小必要電力を取り決めることができます (ネゴシエーション) できます。
- PC とハブの間の通信を利用したインテリジェント システム レベル パワー マネージメント機能
- を使うと、ヘッドセットなどの低消費電力機器を接続する場合に、それらの機器が必要とする電力のみについてネゴシエーションできます。

依然として先行きは不透明ですが、欧州連合 (EU) では、電気電子機器廃棄物の削減と消費者にとっての使いやすさの向上を目的として、電話、ポータブル チャージャを含むすべての小型電子デバイスにおいて、USB-C コネクタを普遍化する動きがあります。

## USB Type-C® および USB PD 仕様の序論と概要

- 概要
- USB-C 接続
- VCONN およびメッセージ タイプ
- CC ワイヤ上での USB PD 電力のネゴシエーション
- データ ロールの交換
- パワー ロールの交換
- USB PD 代替モードの概要
- EPR の概要



## 概要

執筆者: Adam McGaffin, Eric Beljaars, Ghouse Mohiuddin

USB Type-C® (USB-C®) および USB PD (USB Power Delivery) 仕様は、USB-C コネクタで使用される 2 つのプロトコルです。最初に USB-C コントラクトを確立しないと USB PD コントラクトをネゴシエーションできないため、これらは 2 つの独立したプロトコルではありますが、互いに密接に関連しています。この章では、両方の仕様について説明し、USB PD の複雑なトピックを紹介します。

## USB-C 接続

USB-C コネクタおよびケーブルには、各方向に 1 本ずつ、2 本の構成チャネル (CC) ピンがあります。このことが、USB-C がリバーシブルであることに役立っています。CC ピンは、ケーブルを接続したタイミングと、USB-C ポートがソースとシンクのどちらの役割を仮定するかを決定します。また、これらのピンはすべての USB PD メッセージを送受信します。接続すると、極性に基づいて、CC ラインの 1 つがメッセージ交換に使用され、他方の CC ラインは、アクティブ ケーブルと E マーカーに電力を供給するための VCONN として使用できます。

USB-C 電力ソースは CC ピン上にプルアップ抵抗 ( $R_p$ ) を提示し、USB-C 電力シンクは CC ピン上にプルダウン抵抗 ( $R_d$ ) を提示します。ソースがシンクに接続されると、 $R_p$  と  $R_d$  は CC ピン上で分圧器を形成します。このようにして USB-C 接続が検出されます。ポートのパワー ロールに加えて、一般的な USB-C では、 $R_p$  と  $R_d$  はデータ ロールも決定します。 $R_p$  は、常にダウンストリーム側ポート (DFP) である電力ソースによって提示されます。 $R_d$  は、常にアップストリーム側ポート (UFP) である電力シンクによって提示されます。 $R_p$  と  $R_d$  の抵抗分圧器によって接続が検出された後、ソースは 5V を供給する必要があり、シンクは暗黙の USB-C コントラクトに基づいて電流の消費を開始できます。

USB-C 仕様で規定されているように、 $R_p$  の抵抗値によって、ソースが供給できる電流の大きさが決まります。シンクは、プルアップの強度によって  $R_p$  抵抗値を検出し、接続されたソースの能力に基づいて消費電流を制限する必要があります。USB-C はコールドコネクタであることに注意します。つまり、何も接続されていない場合、VBUS は 0V になっています。これは、従来の USB Type-A と異なります。USB Type-A では、VBUS には常に 5V が現われていました。コールド接続とは、各 USB-C ソースポートが、デバイスが接続されているかどうかに応じた 5V の有効化 / 無効化と、デバイスを流れる電流の制御に対応する必要があります。これを意味します。

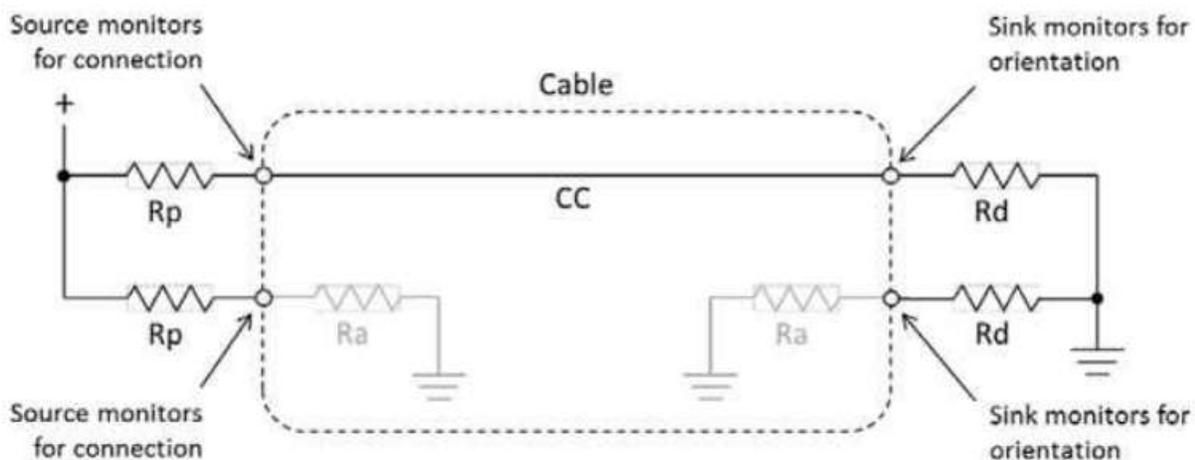


図 11. CC ロジックのプルアップおよびプルダウン終端。(出典: USB Type-C 仕様 v1.2、図 4 および 5 のプルアップおよびプルダウン CC モデル)

## VCONN およびメッセージ タイプ

一般的な USB-C コントラクトが確立された後、接続されたデバイスとの間で CC ラインは USB PD メッセージを送受信できます。3A を上回る電流、USB 3.0 データ レート、DisplayPort™ または Thunderbolt 代替モードが存在する場合、CC ラインは E マーク付きケーブルまたはアクティブ ケーブルに電力を供給するために VCONN (反対側の CC ライン) にも電力を供給できます。

CC メッセージには 3 種類 (パケットの開始 (SOP)、SOP'、SOP'') があります。メッセージ タイプは、メッセージが送信される宛先のデバイスを示します。

- SOP メッセージは、USB PD コントローラから USB PD コントローラにケーブルを介して移動します。
- SOP' メッセージは、メッセージを送信するポートに接続されているケーブルの端の電子マーカに送信されます。
- SOP'' メッセージは、メッセージを送信するポートの反対側のケーブルの端の電子マーカに送信されます。

図 12 に、DFP またはソース USB PD コントローラが SOP、SOP'、SOP'' メッセージを送信する場所を示します。この章では、ある USB コントローラから別の USB PD コントローラへの一般的な SOP メッセージに注目します。ほとんどのネゴシエーションはこの状況で行われるためです。ケーブルのどちらかの端にある電子マーカへの通信は、通常、ケーブルの能力を把握するための互換性チェックにすぎません。

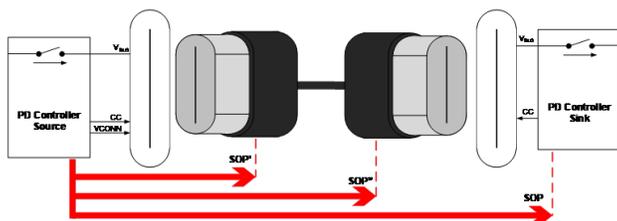


図 12. SOP、SOP'、SOP'' メッセージ

信号伝達が CC ワイヤで行われることと、どのデバイスがメッセージを送信しているかを識別する方法は分かりました。次に、メッセージの種類とその機能について説明します。USB PD メッセージには主に 3 つのカテゴリ (制御メッセージ、データ メッセージ、拡張メッセージ) があります。

制御メッセージは短く、ポート パートナー間のメッセージ フローを管理し、または追加データを必要としないメッセージを交換するために使用されます。制御メッセージの長さは 16 ビットです。表 3 に、すべての制御メッセージ タイプの一覧を示します。

表 3. 制御メッセージ タイプ

| メッセージ タイプ      | 送信元                     |
|----------------|-------------------------|
| GoodCRC        | ソース、シンク、ケーブル プラグ        |
| GotoMin        | ソースのみ                   |
| 承認             | ソース、シンク、ケーブル プラグ        |
| 拒否             | ソース、シンク、ケーブル プラグ        |
| Ping           | ソースのみ                   |
| PS_RDY         | ソースまたはシンク               |
| Get_Source_Cap | シンクまたはデュアルロール パワー (DRP) |
| Get_Sink_Cap   | ソースまたは DRP              |
| DR_Swap        | ソースまたはシンク               |
| PR_Swap        | ソースまたはシンク               |
| VCONN_Swap     | ソースまたはシンク               |
| ウェイト           | ソースまたはシンク               |

表 3. 制御メッセージタイプ (続き)

| メッセージタイプ                | 送信元              |
|-------------------------|------------------|
| SOFT_Reset              | ソースまたはシンク        |
| Data_Reset              | ソースまたはシンク        |
| Data_Reset_Complete     | ソースまたはシンク        |
| Not_Supported           | ソース、シンク、ケーブル プラグ |
| Get_Source_Cap_Extended | シンクまたは DRP       |
| Get_Status              | ソースまたはシンク        |
| FR_Swap                 | シンク              |
| Get_PPS_Status          | シンク              |
| Get_Country_Codes       | ソースまたはシンク        |
| Get_Sink_Cap_Extended   | ソースまたは DRP       |
| Get_Source_Info         | シンクまたは DRP       |
| Get_Revision            | ソースまたはシンク        |

データ メッセージは、ポート パートナー ペア間で情報を交換するために使用されます。データ メッセージの長さは 48 ビット～240 ビットです。3 つのタイプがあります。

- 能力を明らかにし、電力をネゴシエーションするために使われるもの。
- 内蔵セルフ テスト (BIST) に使われるもの。
- ベンダーによって定義されたもの。

表 4 に、すべてのデータ メッセージ タイプの一覧を示します。

表 4. データメッセージタイプ

| メッセージタイプ            | 送信元              |
|---------------------|------------------|
| Source_Capabilities | ソースまたは DRP       |
| 要求                  | シンクのみ            |
| BIST                | テスト、ソース、シンク      |
| Sink_Capabilities   | シンクまたは DRP       |
| Battery_Status      | ソースまたはシンク        |
| Alert               | ソースまたはシンク        |
| Get_Country_Info    | ソースまたはシンク        |
| Enter_USB           | DFP              |
| EPR_Request         | シンク              |
| EPR_Mode            | ソースまたはシンク        |
| Source_Info         | ソース              |
| 改訂                  | ソース、シンク、ケーブル プラグ |
| Vendor_Defined      | ソース、シンク、ケーブル プラグ |

データ メッセージと同様に、拡張メッセージもポート パートナー ペア間で情報を交換するために使用されます。拡張メッセージには複数のタイプがあります。

- ソースとバッテリーの情報に使われるもの。
- セキュリティに使われるもの。
- ファームウェアの更新に使われるもの。

- ベンダーによって定義されたもの。

表 5 に、すべての拡張メッセージ タイプの一覧を示します。

表 5. 拡張メッセージタイプ

| メッセージ タイプ                    | 送信元              |
|------------------------------|------------------|
| Source_Capabilities_Extended | ソースまたは DRP       |
| 供給状況                         | ソース、シンク、ケーブル プラグ |
| Get_Battery_Cap              | ソースまたはシンク        |
| Get_Battery_Status           | ソースまたはシンク        |
| Battery_Capabilities         | ソースまたはシンク        |
| Get_Manufacturer_Info        | ソースまたはシンク        |
| Manufacturer_Info            | ソース、シンク、ケーブル プラグ |
| Security_Request             | ソースまたはシンク        |
| Security_Response            | ソース、シンク、ケーブル プラグ |
| Firmware_Update_Request      | ソースまたはシンク        |
| Firmware_Update_Response     | ソース、シンク、ケーブル プラグ |
| PPS_Status                   | ソース              |
| Country_Info                 | ソースまたはシンク        |
| Country_Codes                | ソースまたはシンク        |
| Sink_Capabilities_Extended   | シンクまたは DRP       |
| Extended_Control             | ソースまたはシンク        |
| EPR_Source_Capabilities      | ソースまたは DRP       |
| EPR_Sink_Capabilities        | シンクまたは DRP       |
| Vendor_Defined_Extended      | ソース、シンク、ケーブル プラグ |

各メッセージ タイプの詳細については、USB PD 仕様を参照してください。

## CC ワイヤ上での USB PD 電力のネゴシエーション

Rp と Rd を使って基本的な USB-C の暗黙のコントラクトに入り、どちらの CC ラインが通信用であり、どちらの CC ラインが VCONN 用であるかを決定し、ケーブルの機能を認識するために SOP' および SOP" メッセージを使ってケーブルと通信した後、SOP メッセージを使って 2 つのデバイスの間の USB PD ネゴシエーションを開始します。

USB PD メッセージは、接続された 2 つのデバイスの間の 300kbps ±10% の BMC (Biphase Mark Code) 信号で構成されます。このメッセージ交換は CC ピンで行われます。

USB PD ネゴシエーションで送信される最初のメッセージは、DFP ソース ポートから送信される Source\_Capabilities です。Source\_Capabilities メッセージには、接続されたデバイスにソースが提供できる PDO (Power Data Object) が含まれます。

各 USB PD メッセージの間には、USB PD メッセージを受信したばかりのデバイスから GoodCRC メッセージが送信されます。たとえば、DFP ソース ポートが Source\_Capabilities を送信すると、UFP シンク ポートは、次のメッセージの前に GoodCRC メッセージで応答します。GoodCRC は、接続されたデバイスがメッセージを受信できたことを意味します。UFP シンク ポートは、接続されたデバイスから Source\_Capabilities メッセージを受信した後、動作させる必要がある PDO を要求する要求メッセージを送信します。ソースの能力がシンクの要求動作電流と直接一致しない場合、このことをソースに示すため、シンクは要求メッセージの能力不一致ビットをトグルします。

接続されたシンクから DFP ソース ポートが要求メッセージを受信すると、ソースは承諾メッセージをシンクに送信します。ソースは、シンクからの要求と一致するように VBUS の電圧を調整します。

要求された PDO の  $\pm 5\%$  以内にソースの電圧が入ると、電圧が良好であることをシンクに示すため、ソースは PS\_RDY メッセージを送信します。PS\_RDY メッセージの後、要求された PDO までの電流をシンクは流し始めることができます。

図 13 に、一般的な USB PD アナライザで観測された USB PD 電力ネゴシエーションの様子を示します。USB PD に対応したシステムを設計する場合、2 つのデバイス間の CC ネゴシエーショントラフィックを記録するため、USB PD アナライザを使うことを推奨します。予期しない挙動が発生した場合のデバッグに、USB PD アナライザは非常に役立ちます。

| Packet | Direction         | Msg Type   | DR  | PR  | Msg ID | Obj Cnt | Cmd               | Cmd Type        | Obj Pos        | Vendor ID   |
|--------|-------------------|------------|-----|-----|--------|---------|-------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 36     | Right (Src → Snk) | Source Cap | DFP | SRC | 0      | 3       | Discover Identity | Initiator       | 0              | PD SID      |
| 37     | Left (Snk → Src)  | GoodCRC    | UFP | SNK | 0      | 0       |                   |                 |                |             |
| 38     | Left (Snk → Src)  | Request    | UFP | SNK | 0      | 1       | Request           | Max Opr Cur/Pow | 3.00A / 75.00W | Opr Cur/Pow |
| 39     | Right (Src → Snk) | GoodCRC    | DFP | SRC | 0      | 0       |                   |                 |                |             |
| 40     | Right (Src → Snk) | Accept     | DFP | SRC | 1      | 0       |                   |                 |                |             |
| 41     | Left (Snk → Src)  | GoodCRC    | UFP | SNK | 1      | 0       |                   |                 |                |             |
| 42     | Right (Src → Snk) | PS Ready   | DFP | SRC | 2      | 0       |                   |                 |                |             |
| 43     | Left (Snk → Src)  | GoodCRC    | UFP | SNK | 2      | 0       |                   |                 |                |             |

図 13. USB PD 電力ネゴシエーション

図 13 に、以下のメッセージのシーケンスを示します。

1. ケーブルの能力とプラグの種類が分かっていない場合、ソースはそれらを検出します。ソースは、電源の現在の能力を表す Source\_Capabilities メッセージを、CRC (Cyclic Redundancy Check) を付加して送信します。
2. シンク ポリシー エンジン、ソースによって送信された Source\_Capabilities メッセージを評価し、必要に応じてプラグの種類を検出し、使用する電源を選択します。シンクは要求を表すデータ (PDO など) を使ってメッセージに生成し、そのメッセージを送信します。
3. ソース ポリシー エンジン、シンクによって送信された要求メッセージを評価し、自分がその要求を完了できるかどうかを判断します。ソースは、CRC が付加された承諾メッセージを生成および送信し、それが以下のアクションをトリガーします。
  - シンクは SnkStandby 期間に入り、500mA 未満の電流をプルし (吸い込み) ます。
  - ソースは VBUS 電圧を VBUS\_old から VBUS\_new に (この場合、5V から 20V に) 遷移させ始めます。
4. ソース デバイス ポリシー マネージャは、電源が新しい動作状態に落ち着いたことをポリシー エンジンに通知し、CRC が追加された PS\_RDY メッセージを送信します。

詳細については、USB PD 仕様を参照してください。

図 14 に、USB PD 仕様に規定された、固定、可変、バッテリー標準電力範囲 (SPR) 電力ネゴシエーションが成功する様子を示します。USB PD 仕様の中のキーワードをこの E ブック内で検索することで、詳細を知ることができます。

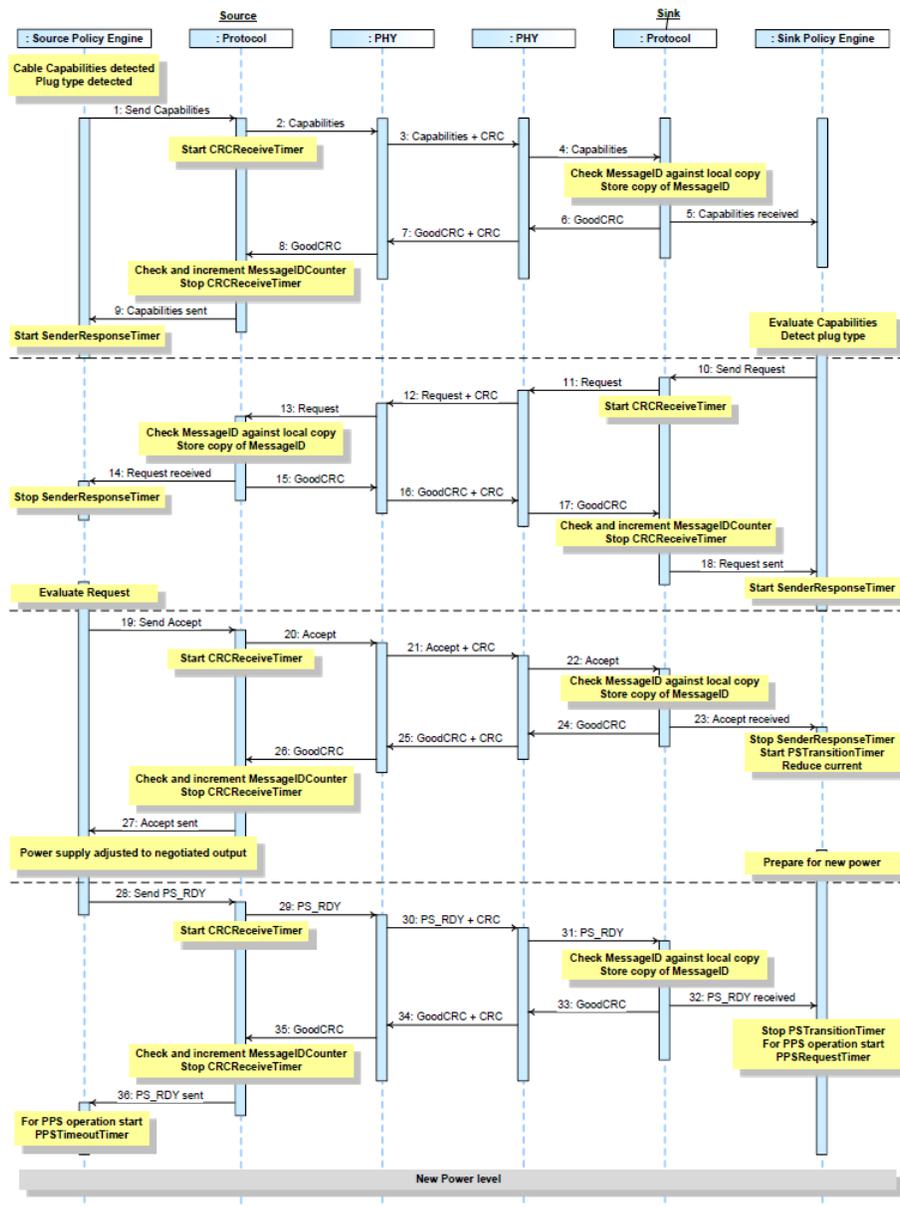


図 14. 固定、可変、バッテリー SPR 電力ネゴシエーションの成功

### データ ロールの交換

USB PD 機能を備えた USB-C ポートを有効化すると、データ ロールとパワー ロールをうまく組み合わせることができます。通常の USB-C 接続では、データ ロールとパワー ロールは常に一致します。これは、CC ライン上で提示される  $R_p$  または  $R_d$  抵抗によって決定されます。USB PD メッセージを使うと、パワー ロールとデータ ロールを入れ替えるために、パワー ロール スワップとデータ ロール スワップを完了する機能を追加できます。これは、USB PD ポートが DFP シンクまたは UFP ソースになることができることを意味しています。

たとえば、ノート PC をドッキング ステーションに接続する場合、ドッキング ステーションがノート PC の電力を供給し、充電を行う必要があるだけでなく、マウス、キーボード、ディスプレイに接続するために、PC からデータを受け取る必要もあります。この場合、

ドッキングステーションを電力ソース兼データ UFP にする必要があります。この状態に移行するには、データロールスワップとパワーロールスワップのどちらかが必要です。

通常、ノート PC とドッキングステーションはどちらも DRP に対応しているため、どちらのデバイスも最終的には元のパワーロールまたはデータロールに戻ることができます。ノート PC が UFP シンクとして起動し、ドッキングステーションが DFP ソースとして起動すると仮定します。この場合、パワーロールは適切ですが、正しいデータロールを設定するため、データロールスワップを完了する必要があります。どちらのポートパートナーも、データロールスワップを開始できます。しかし、ノート PC は DFP になる必要があるため、ノート PC がスワップを開始する方がより一般的です。イベントのシーケンスを以下に示します。

1. UFP シンクは、データロールスワップ (USB PD 仕様の DR\_Swap) メッセージを DFP ソースに送信します。
2. DFP ソースは、データロールスワップメッセージを受信し、承諾メッセージを返します。

この時点で、ノート PC が DFP シンクになり、データロールスワップが完了します。図 15 に、このシーケンスが USB PD 仕様どのように記載されているかを示します。

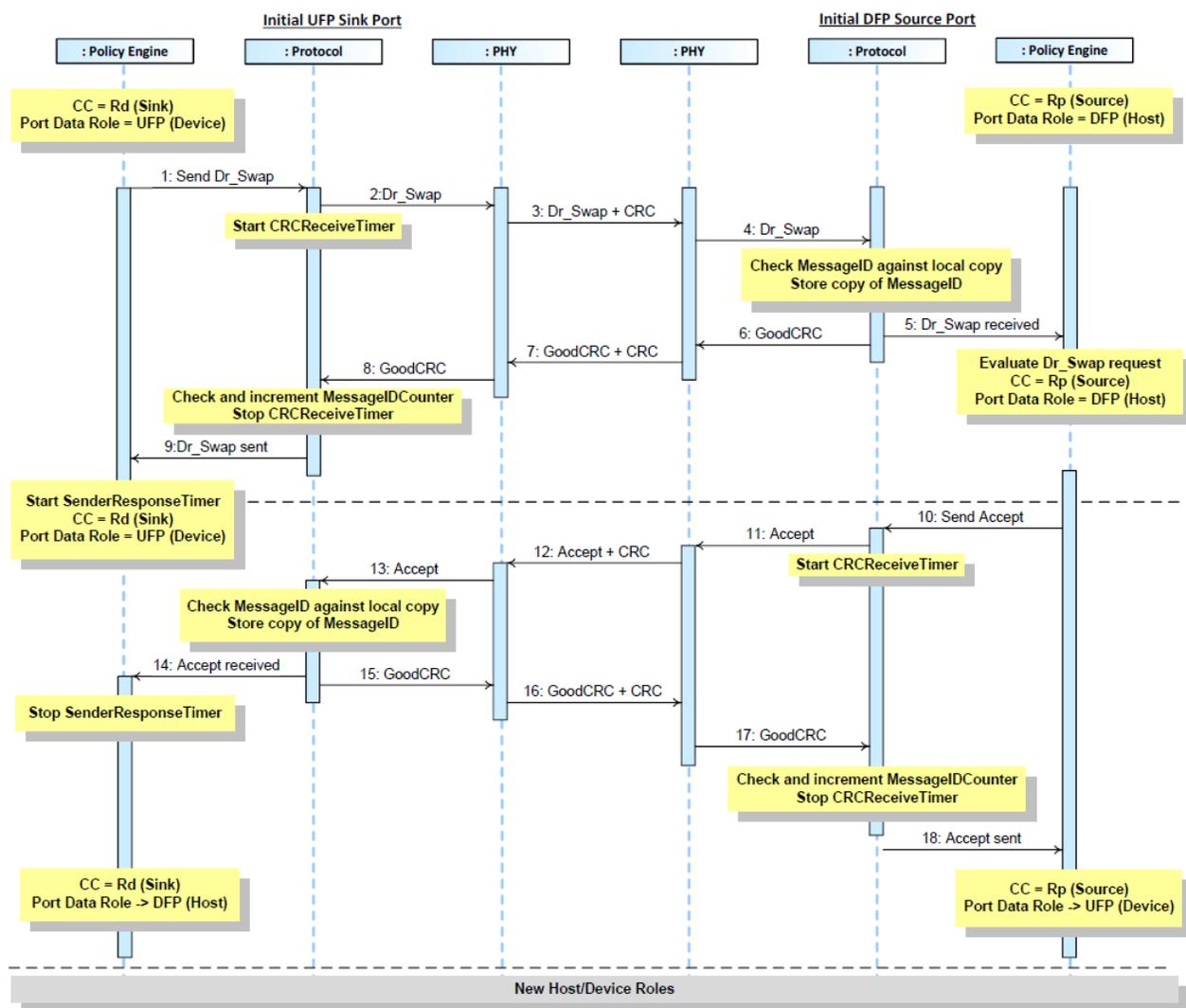


図 15. データロールスワップの成功、UFP から DFP への移行

## パワー ロールの交換

次に、ノート PC が DFP ソースとして接続している例について説明します。この場合、データ ロールは適切ですが、ドックが電源になり、ノート PC の充電を開始できるように、パワー ロール スワップを完了する必要があります。

以下に、ノート PC (DFP ソース) が、電力シンクになるためにパワー ロール スワップを開始する際に発生するイベントのシーケンスを示します。

1. DFP ソースは、パワー ロール スワップ (USB PD 仕様の PR\_Swap) メッセージを UFP シンクに送信します。
2. UFP シンクは、承諾メッセージを DFP ソースに送り返します。
3. DFP ソースは電力の供給を停止し、CC の終端を Rp から Rd に変更して、シンクになることを示します。この後、DFP ソースは、電力の供給を停止したことを示すため、PS\_RDY メッセージを送信します。
4. 最初の UFP シンクは、最初の DFP ソースから第 1 の PS\_RDY を受信します。最初の UFP シンクは、その CC 終端を Rd から Rp に変更し、VBUS 上で 5V の供給を開始します。
5. VBUS で 5V が利用可能な場合、最初の UFP シンクが第 2 の PS\_RDY を送信し、パワー ロール スワップが完了します。

VBUS 上で 5V のみを供給しているドックでこのシーケンスは停止し、その後、そのソース能力を送信することで、同じ USB PD 電力ネゴシエーションが開始されます。図 16 に、USB PD 仕様で規定されている、最初のシンクによって開始されたパワー ロール スワップのイベントのシーケンスを示します。

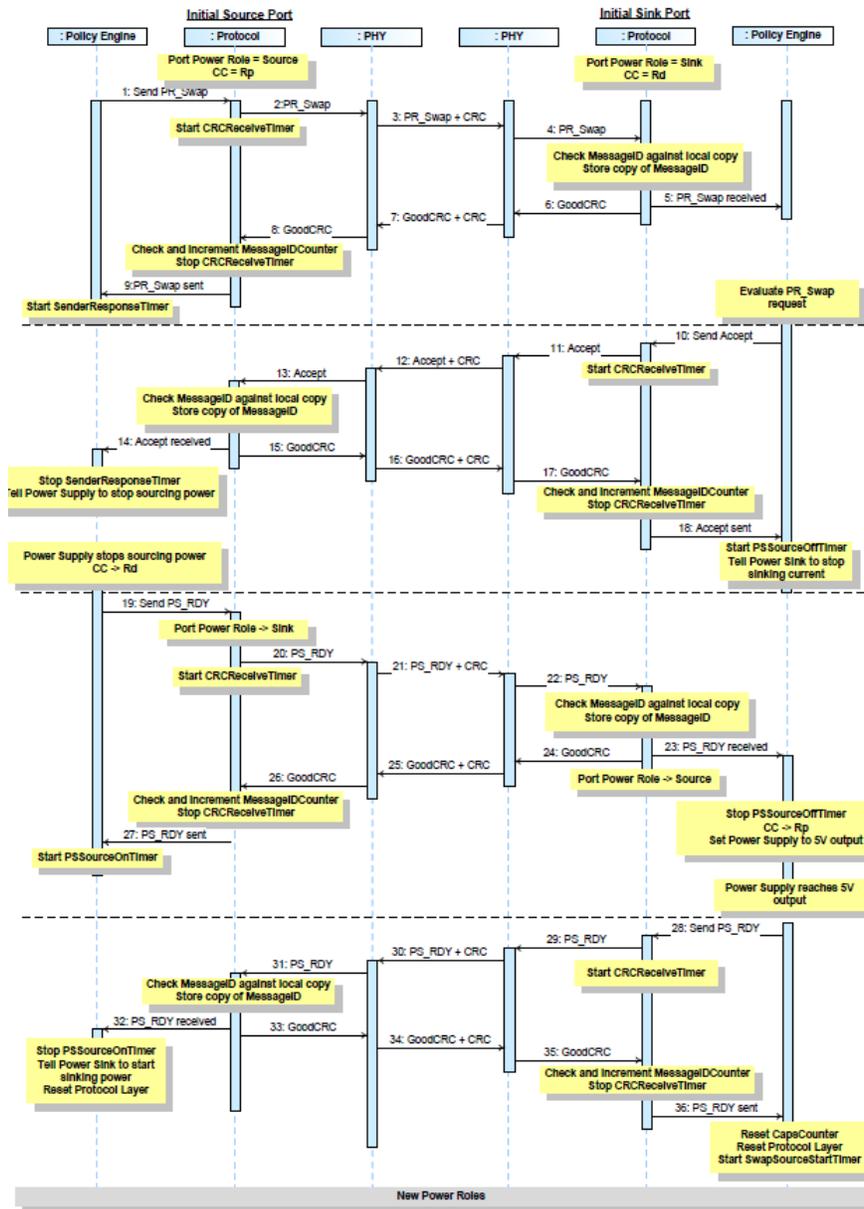


図 16. パワー ロール スワップの成功、新しいソースに対する最初のシンク

### USB PD 代替モードの概要

USB-C の重要な利点の 1 つは、コンシューマ デバイスのほぼすべてのケーブル (DisplayPort、Thunderbolt、電源バレル、USB Type-A、USB Type-B) を USB-C が不要にできることです。これを行うには、USB 3.0 を超える機能を USB-C に追加する必要があります。そのため、USB-IF (USB Implementers Forum) は代替モードを定義することになりました。代替モードでは、USB-C ピン (トランスミッタおよびレシーバ ペアと SBU (Sideband Use)) を別の機能に転用できます。現在までのところ、ビデオは代替モードの主な用途とされており、DisplayPort と Thunderbolt は USB-C ケーブル経由のビデオを実装するための主要な 2 つの代替モードです。

## EPR の概要

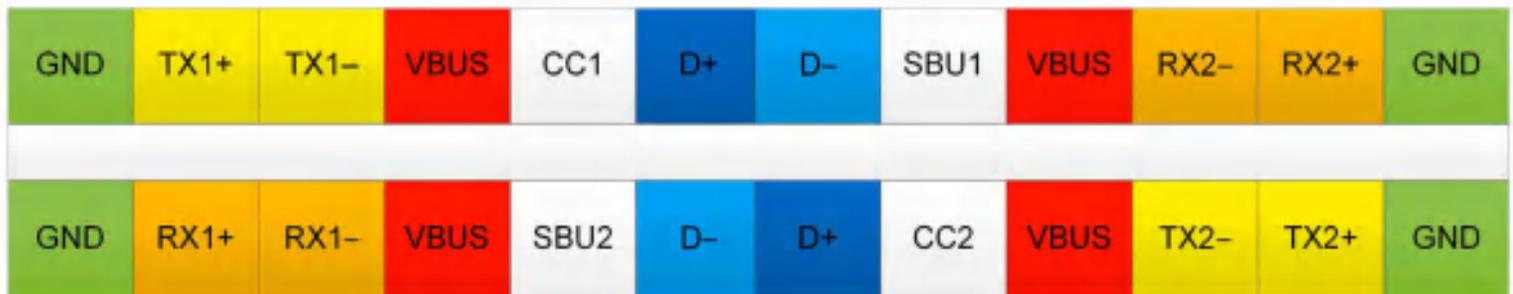
最近まで、USB PD 3.0 仕様では、電力とデータの両方の双方向性と、最大 100W (20V、5A、認証済み USB-C ポートおよびケーブルを使用) の電力レベルが許容されていました。最新の USB PD 3.1 仕様では、ワット数が 240W (48V、5A) に拡大されています。用語の一貫性を保つため、USB-IF は以前の USB PD 範囲を SPR に変更し、新しい仕様 (100W~240W) を拡張電力範囲 (EPR) に変更しました。

表 6. USB の電力レベル

| 仕様                  | 最大電圧 | 最大電流  | 最大電力  |
|---------------------|------|-------|-------|
| USB 2.0             | 5 V  | 500mA | 2.5 W |
| USB 3.0 および USB 3.1 | 5 V  | 900mA | 4.5 W |
| USB バッテリー充電 1.2     | 5 V  | 1.5A  | 7.5 W |
| USB-C 1.2           | 5 V  | 3A    | 15 W  |
| USB PD 3.0          | 20 V | 5A    | 100 W |
| USB PD 3.1          | 48 V | 5A    | 240 W |

## USB Type-C® 経由の USB 信号

- はじめに
- Type-C を経由した USB 2.0 信号伝達
- LowSpeed と FullSpeed
- 高速
- LowSpeed、FullSpeed、HighSpeed データレート
- USB 2.0 のシグナル インテグリティ
- USB-C を経由した SuperSpeed 信号伝達
- SuperSpeed の起動速度のネゴシエーション
- SuperSpeed のシグナル インテグリティに関する課題



## はじめに

執筆者: Undrea Fields

USB-Type C® (USB-C®) は USB 仕様バージョン 1.0、1.1、2.0、3.2 Gen 1 (SuperSpeed USB)、3.2 Gen 2 (SuperSpeed USB 10Gbps)、3.2 Gen 2x2 (SuperSpeed 20Gbps)、USB 4 20Gbps、USB4 40Gbps、USB4 80Gbps と互換性があります。

USB-C を介するすべての USB 信号は次の 6 組の差動ペアで生成されます。

- D1+, D1- (LowSpeed、FullSpeed、HighSpeed)。
- D2+, D2- (LowSpeed、FullSpeed、HighSpeed)。
- TX1+, TX1- (SuperSpeed チャンネル 1 送信 [TX])。
- RX1+, RX1- (SuperSpeed チャンネル 1 受信 [RX])。
- TX2+, TX2- (SuperSpeed チャンネル 2 TX)。
- RX2+, RX2- (SuperSpeed チャンネル 2 RX)。

## Type-C を経由した USB 2.0 信号伝達

USB 仕様に従い、USB-C を実装する場合、下位互換性を維持するため、USB-C インターフェイス上で、SuperSpeed 信号と同時に USB 2.0 (USB 1.0 と USB 1.1 を含む) 信号をサポートする必要があります。

### LowSpeed と FullSpeed

LowSpeed および FullSpeed 信号は 3.3V 信号です。図 17 に示すように、LowSpeed または FullSpeed デバイスには、D+ (FullSpeed) 信号と D- (LowSpeed) 信号のどちらかに 3.3V との間に 1.5kΩ のプルアップ抵抗が接続され、それによりホストは、必要なインターフェイス速度を判断できます。

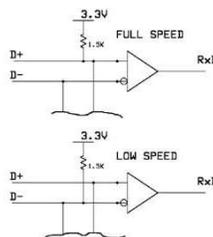


図 17. LowSpeed と FullSpeed のプルアップ

### 高速

HighSpeed 信号は、3.3V と 800mV の差動信号の組み合わせで構成されます。図 18 に示すように、HighSpeed デバイスには、D+ と D- の両方の信号に 45Ω 終端を接続します。

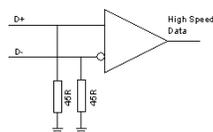


図 18. HighSpeed の終端

最初に、HighSpeed デバイスはアイドル状態 (HighSpeed ネゴシエーションに先立って D+ が 3.3V) にあります。HighSpeed ネゴシエーションが正常に完了すると、(480Mbps の) HighSpeed パケットが約 400mV の差動電圧で送信されます。図 19 に、その過程を示します。

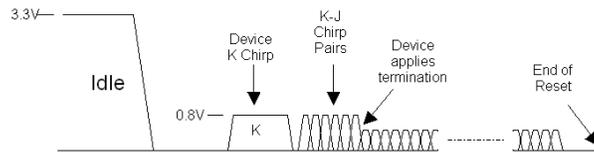


図 19. HighSpeed ネゴシエーション

## LowSpeed、FullSpeed、HighSpeed データレート

USB 仕様の各リビジョンによって、データ スループットは向上しました。表 7 に、LowSpeed、FullSpeed (USB 1.1)、HighSpeed (USB 2.0) のスループットを示します。

表 7. USB 1.1 および 2.0 のデータレート

| 名称     | 速度      |
|--------|---------|
| 低速度    | 1.5Mbps |
| フルスピード | 12Mbps  |
| 高速     | 480Mbps |

## USB 2.0 のシグナル インテグリティ

USB 2.0 のデータレートが高くなると、特にホストから USB コネクタまでのプリント基板配線が長いデスクトップまたはサーバータイプのプラットフォームでは、USB 2.0 ホストのアイ ダイアグラム電氣的試験に合格するためにテキサス・インスツルメンツの TUSB211A などのシグナル コンディショナの助けが必要とされる特定の状況が生じる可能性があります。図 20 に、この例と、既存の配線上に TUSB211A を配置する際のシグナル コンディショナとしての TUSB211A の使い方を示します。

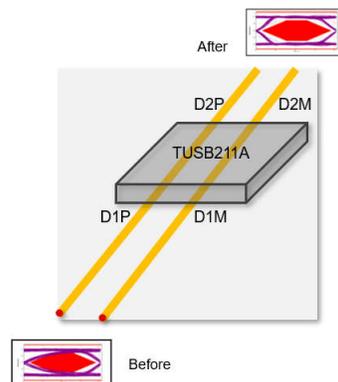


図 20. TUSB211A USB 2.0 シグナル コンディショナ

## USB-C を経由した SuperSpeed 信号伝達

すべての USB SuperSpeed 信号は、同じ差動ペア (TX1、RX1、TX2、RX2) を介して送受信されます。USB-C を経由した SuperSpeed 信号は、TX1/RX1 ペアと TX2/RX2 ペアのどちらかを使用できます。これは x1 実装とも呼ばれます。USB-C を経由した USB は、データレートを増やさずに、データ スループットを実質的に倍増させるため、x1 実装の未使用の TX/RX ペアを有効化する機能を追加します (これは x2 実装と呼ばれます)。

表 8 に、USB 3.0 および USB 4.0 仕様の各種バージョンと、関連するデータ レートを示します。

表 8. SuperSpeed USB データレート

| モード              | 名称                    | 速度     |
|------------------|-----------------------|--------|
| USB 3.2 Gen 1x1  | SuperSpeed USB        | 5Gbps  |
| USB 3.2 Gen 2x1  | SuperSpeed USB 10Gbps | 10Gbps |
| USB 3.2 Gen 2x2  | SuperSpeed USB 20Gbps | 20Gbps |
| USB 4.0 Gen 2 x2 | USB 4 20Gbps          | 20Gbps |
| USB 4.0 Gen 3 x2 | USB4 40Gbps           | 40Gbps |
| USB 4.0 Gen 4    | USB4 80Gbps           | 80Gbps |

## SuperSpeed の起動速度のネゴシエーション

SuperSpeed デバイスは、SuperSpeed USB の LFPS (Low-Frequency Periodic Signaling) 信号を使うことで、そして、SuperSpeed USB の 10Gbps および 20Gbps で LFPS 信号をパルス変調すること (LBPM) で、起動時に利用可能な最大データ レートで接続するようにネゴシエーションを行います。USB 4.0 では LBPM 信号伝達と、多相ネゴシエーションの一部を使用しています。図 21 に、LBPM ネゴシエーションの一例を示します。

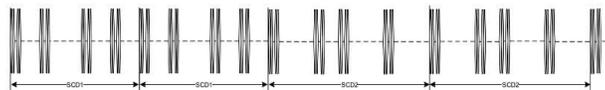


図 21. LBPM の例

## SuperSpeed のシグナル インテグリティに関する課題

データレートの大幅な向上は、インターフェイスを通して信号が伝送される際のシグナル インテグリティ (信号の整合性) に課題を提起します。シグナル インテグリティの劣化には多くの要因が関与しています。トレース、コネクタ、ケーブルはすべて挿入損失の要因であり、高速信号のシンボル間干渉、クロストーク、ノイズ、ジッタの原因にもなります。また、任意の接続点でのインピーダンスの不整合は信号の反射を引き起こします。信号の速度が大きいくほど、信号が劣化する可能性はより高くなります。図 22 に、信号劣化を引き起こす可能性がある潜在的な原因の一覧を示します。

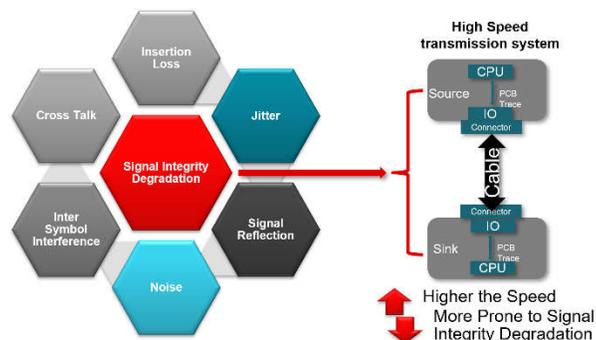


図 22. シグナル インテグリティ劣化の原因

これらのシグナル インテグリティに関する課題を克服するため、USB-C ポートにおいてシグナル コンディショナを使用できます。TUSB1146 リニア リドライバなどのシグナル コンディショナを使用すると、すべてのプリシュートとディエンファシスがパス スルー (通過) するため、リンクトレーニングを妨げることなく、システムのシンボル間干渉を補償できます。

## USB Type-C® の信号の多重化

USB-C USB 2.0 •

USB-C USB 3 •

USB PD DisplayPort™ 代替モードの多重化 •

DisplayPort ソース デバイス (DFP\_D) ピン割り当て C •

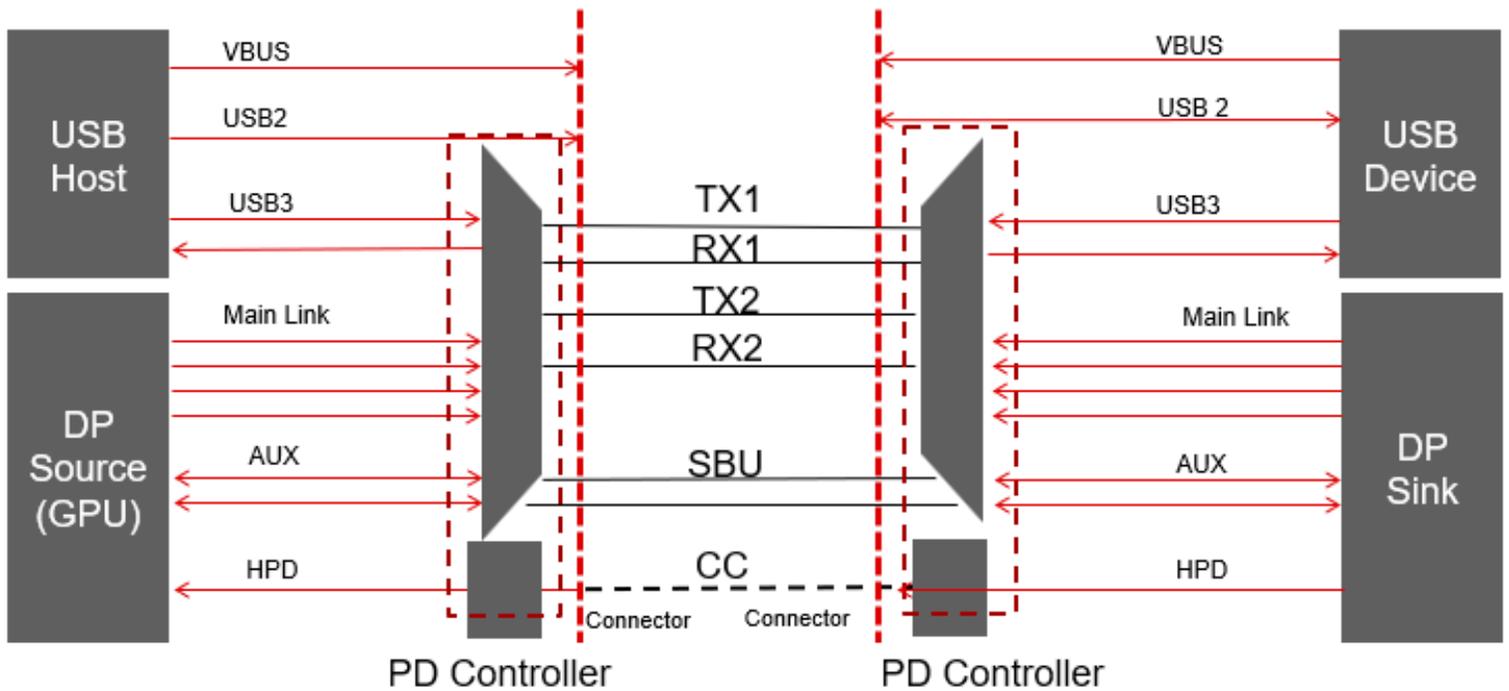
DisplayPort ソース デバイス (DFP\_D) ピン割り当て D •

DisplayPort ソース デバイス (DFP\_D) ピン割り当て E •

DisplayPort シンク デバイス (UFP\_D) ピン割り当て C •

DisplayPort シンク デバイス (UFP\_D) ピン割り当て D •

DisplayPort シンク デバイス (UFP\_D) ピン割り当て E •



## USB-C USB 2.0

執筆者: David Liu

USB 2.0 の場合、D+ ピンと D- ピンの配置に起因して、信号の多重化は通常、ホストおよびデバイス レセプタクルの 2 本の D+ 信号ピンと 2 本の D- 信号ピンを短絡することで行われます。

## USB-C USB 3

USB 3 または SuperSpeed 信号の場合、データ レーンは、SuperSpeed 送信 (TX) および受信 (RX) 信号ペアを、ケーブルで接続されたパスに適切に転送するため、ホストとデバイスの両方のマルチプレクサと等価な機能を備えている必要があります。

ホストからデバイスへのアクティブ USB データ バスの適切な転送を実現するため、一般的な USB-C ケーブルは、1 つの構成チャネル (CC) の配線が第 1 の USB SuperSpeed 信号ペア (SSTXp1/SSTXn1 および SSRXp1/SSRXn1) と位置が合うように配線されています。このようにして、CC ワイヤと USB SuperSpeed データ バス ワイヤを使ってケーブルの向きとねじれを判断します。レセプタクルのどちらの CC ピン (CC1 または CC2) をデバイスが終端するかを検出することで、ホストは、どちらの SuperSpeed USB 信号を接続に使用すべきかを検出でき、機能スイッチを制御して SuperSpeed USB 信号ペアを転送できます。

デバイス内では、レセプタクルのどちらの CC ピンをホストが終端するかを検出することで、デバイスは、SuperSpeed USB 信号ペアを転送する機能マルチプレクサを制御できます。図 23 に、SuperSpeed 送信 (TX) および受信 (RX) 信号ペア配線と USB SuperSpeed 信号ペア (SSTXp1/SSTXn1 および SSRXp1/SSRXn1) の対応を示します。

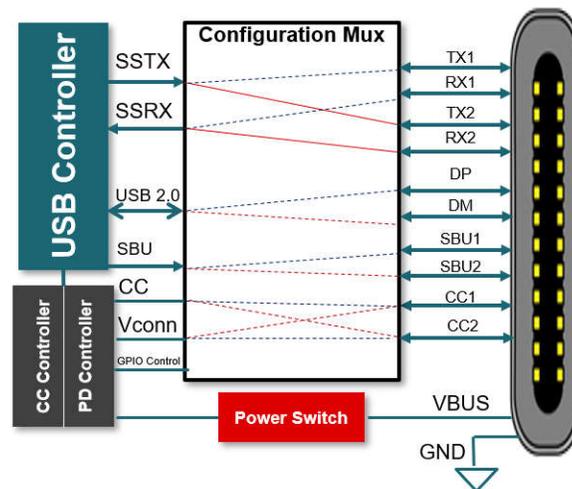


図 23. USB 構成マルチプレクサ

## USB PD DisplayPort™ 代替モードの多重化

DisplayPort™ 信号を転送できる USB-C ポートは、USB PD DisplayPort と DisplayPort 代替モードのどちらかと呼ばれます。DisplayPort 代替モードを使用すると、DisplayPort をサポートするビデオ信号源 (PC、Blu-Ray プレーヤ) と表示デバイス (TV、モニタ) を USB-C ポートによって互いに接続し、HD (高品位) ビデオを転送できます。図 24 に、DisplayPort 代替モードで使用される信号の代表的なブロック図を示します。

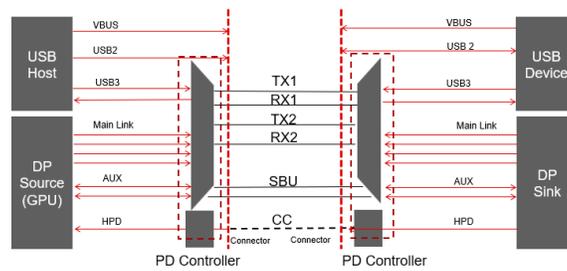


図 24. USB-C DisplayPort

USB-C ポートは USB-C または DisplayPort コネクタに接続できるため、DisplayPort メイン リンク レーンの物理的接続を USB-C コネクタに適切に割り当てるための各種のピン割り当てが存在します。

USB-C ソース側または DFP\_D は割り当て C を必要とします (表 9 を参照)。一方、割り当て D は任意です (表 9 を参照)。割り当て C と割り当て D の違いは、割り当て C が 4 つの DisplayPort レーンをサポートしているのに対して、割り当て D は 2 つの DisplayPort レーンをサポートしていることです。USB-C ポートと DisplayPort の接続には割り当て E のサポートが必要です。

表 9. USB-C ソース側の割り当て

| DFP_D    | 割り当て C                       | 割り当て D                       | 割り当て E               |
|----------|------------------------------|------------------------------|----------------------|
|          | USB-C から USB-C またはプロトコルコンバータ | USB-C から USB-C またはプロトコルコンバータ | USB-C から DisplayPort |
| USB ホスト  | 必須                           | オプション                        | 必須                   |
| USB デバイス | 必須                           | オプション                        | 必須                   |

USB-C シンク側または UFP\_D は割り当て C を必要とします (表 10 を参照)。一方、割り当て D は任意です。割り当て C と割り当て D の違いは、割り当て C が 4 つの DisplayPort レーンをサポートしているのに対して、割り当て D は 2 つの DisplayPort レーンをサポートしていることです。DisplayPort と USB-C ポートの接続には割り当て E のサポートが必要です。

表 10. USB-C シンク側の割り当て

| UFP_D    | 割り当て C         | 割り当て D         | 割り当て E               |
|----------|----------------|----------------|----------------------|
|          | USB-C から USB-C | USB-C から USB-C | USB-C から DisplayPort |
| USB ホスト  | 必須             | オプション          | 必須                   |
| USB デバイス | 必須             | オプション          | 必須                   |

### DisplayPort ソース デバイス (DFP\_D) ピン割り当て C

図 25 と図 26 に、正常および反転プラグ方向の DisplayPort をサポートするために、ピンを再構成する際の USB-C コネクタ ピンの構成を定義します。割り当て C の DisplayPort 電氣的要求は、システムによってサポートされた UHBR (Ultra-High Bit Rate) 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR、RBR (Reduced Bit Rate) までのビット レートに関して、DisplayPort 規格に準拠する必要があります。本プロトコルは DisplayPort 規格で定義されています。ピン配置 C は、USB-C - USB-C パッシブおよびアクティブ ケーブルと、USB-C プラグ付き DisplayPort シンク デバイスにのみ適しています。

Receptacle Interface(Front View)

|     |           |  |           |     |
|-----|-----------|--|-----------|-----|
| B12 | GND       |  | GND       | A1  |
| B11 | ML3+      |  | ML2+      | A2  |
| B10 | ML3-      |  | ML2-      | A3  |
| B9  | VBUS      |  | VBUS      | A4  |
| B8  | SBU2/AUXN |  | CC1       | A5  |
| B7  | D-2       |  | D+1       | A6  |
| B6  | D+2       |  | D-1       | A7  |
| B5  | CC2       |  | SBU1/AUXP | A8  |
| B4  | VBUS      |  | VBUS      | A9  |
| B3  | ML1-      |  | ML0-      | A10 |
| B2  | ML1+      |  | ML0+      | A11 |
| B1  | GND       |  | GND       | A12 |

図 25. DFP\_D ピン割り当て C の正常プラグ方向

Receptacle Interface(Front View)

|     |           |  |           |     |
|-----|-----------|--|-----------|-----|
| B12 | GND       |  | GND       | A1  |
| B11 | ML0+      |  | ML1+      | A2  |
| B10 | ML0-      |  | ML1-      | A3  |
| B9  | VBUS      |  | VBUS      | A4  |
| B8  | SBU2/AUXP |  | CC1       | A5  |
| B7  | D-2       |  | D+1       | A6  |
| B6  | D+2       |  | D-1       | A7  |
| B5  | CC2       |  | SBU1/AUXN | A8  |
| B4  | VBUS      |  | VBUS      | A9  |
| B3  | ML2-      |  | ML3-      | A10 |
| B2  | ML2+      |  | ML3+      | A11 |
| B1  | GND       |  | GND       | A12 |

図 26. DFP\_D ピン割り当て C の反転プラグ方向

## DisplayPort ソース デバイス (DFP\_D) ピン割り当て D

DisplayPort DFP\_D ピン割り当て D は、下位の 2 つの DisplayPort レーンのみが USB-C コネクタに割り当てられていることを除いて、DFP\_D 割り当て C と似ています。ピン割り当て D における DisplayPort 電氣的要求は、システムによってサポートされた UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR、RBR までのビットレートに関して、DisplayPort 規格に準拠する必要があります。このプロトコルは DisplayPort 規格で定義されています。ピン割り当て D は、USB-C - USB-C パッシブおよびアクティブ ケーブルと USB-C プラグ付き DisplayPort シンク デバイスにのみ適しています。USB4 は割り当て D をサポートしていません。

## DisplayPort ソース デバイス (DFP\_D) ピン割り当て E

DisplayPort DFP\_D ピン割り当て E は DFP\_D 割り当て C と同じです。ピン割り当て D における DisplayPort 電氣的要求は、システムによってサポートされた UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR、RBR までのビットレートに関して、DisplayPort 規格に準拠する必要があります。ピン割り当て E は、USB-C - DisplayPort パッシブおよびアクティブ ケーブルのプラグを差し込むレセプタクルと、それらのケーブルのプラグにのみ適しています。

## DisplayPort シンク デバイス (UFP\_D) ピン割り当て C

UFP\_D ピン割り当て C の場合、**図 27** と **図 28** は、正常および反転プラグ方向の DisplayPort をサポートするために、ピンが再構成される際の USB-C コネクタ ピンの使い方と構成を定義します。ピン割り当て C における DisplayPort 電氣的要求は、システムによってサポートされた UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR、RBR までのビット レートに関して、DisplayPort 規格に準拠する必要があります。UFP\_D ピン割り当て C は、USB-C - USB-C パッシブおよびアクティブ ケーブルと、USB-C プラグ付き DisplayPort ソース デバイスにのみ適しています。

| Receptacle Interface(Front View) |           |           |     |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----|
| B12                              | GND       | GND       | A1  |
| B11                              | ML2+      | ML3+      | A2  |
| B10                              | ML2-      | ML3-      | A3  |
| B9                               | VBUS      | VBUS      | A4  |
| B8                               | SBU2/AUXP | CC1       | A5  |
| B7                               | D-2       | D+1       | A6  |
| B6                               | D+2       | D-1       | A7  |
| B5                               | CC2       | SBU1/AUXN | A8  |
| B4                               | VBUS      | VBUS      | A9  |
| B3                               | ML0-      | ML1-      | A10 |
| B2                               | ML0+      | ML1+      | A11 |
| B1                               | GND       | GND       | A12 |

図 27. UFP\_D ピン割り当て C の正常プラグ方向

| Receptacle Interface(Front View) |           |           |     |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----|
| B12                              | GND       | GND       | A1  |
| B11                              | ML3-      | ML2-      | A2  |
| B10                              | ML3+      | ML2+      | A3  |
| B9                               | VBUS      | VBUS      | A4  |
| B8                               | SBU2/AUXP | CC1       | A5  |
| B7                               | D-2       | D+1       | A6  |
| B6                               | D+2       | D-1       | A7  |
| B5                               | CC2       | SBU1/AUXN | A8  |
| B4                               | VBUS      | VBUS      | A9  |
| B3                               | ML1+      | ML0+      | A10 |
| B2                               | ML1-      | ML0-      | A11 |
| B1                               | GND       | GND       | A12 |

図 28. UFP\_D ピン割り当て C の反転プラグ方向

## DisplayPort シンク デバイス (UFP\_D) ピン割り当て D

DisplayPort UFP\_D ピン割り当て D は、下位の 2 つの DisplayPort レーンのみが USB-C コネクタに割り当てられていることを除いて、UFP\_D 割り当て C と似ています。ピン割り当て D における DisplayPort 電氣的要求は、システムによってサポートされた UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR、RBR までのビット レートに関して、DisplayPort 規格に準拠する必要があります。このプロトコルは DisplayPort 規格で定義されています。ピン割り当て D は、USB-C - USB-C パッシブおよびアクティブ ケーブルと USB-C プラグ付き DisplayPort シンク デバイスにのみ適しています。USB4 は UFP\_D 割り当て D をサポートしていません。

## DisplayPort シンク デバイス (UFP\_D) ピン割り当て E

UFP\_D ピン割り当て E の場合、**図 29** と **図 30** は、正常および反転プラグ方向の DisplayPort をサポートするために、ピンが再構成される際の USB-C コネクタ ピンの使い方と構成を定義します。ピン割り当て E における DisplayPort 電氣的要求は、システムによってサポートされた UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR、RBR までのビット レートに関して、DisplayPort 規格に準拠する必要があります。ピン割り当て E は、USB-C - DisplayPort パッシブおよびアクティブ ケーブルのプラグを差し込むレセプタクルと、それらのケーブルのプラグにのみ適しています。割り当て E では、メイン リンク レーンの順序、極性、補助極性が割り当て C に対して入れ替わります。

Receptacle Interface(Front View)

|     |                  |  |                  |     |
|-----|------------------|--|------------------|-----|
| B12 | <b>GND</b>       |  | <b>GND</b>       | A1  |
| B11 | <b>ML0-</b>      |  | <b>ML1-</b>      | A2  |
| B10 | <b>ML0+</b>      |  | <b>ML1+</b>      | A3  |
| B9  | <b>VBUS</b>      |  | <b>VBUS</b>      | A4  |
| B8  | <b>SBU2/AUXN</b> |  | <b>CC1</b>       | A5  |
| B7  | <b>D-2</b>       |  | <b>D+1</b>       | A6  |
| B6  | <b>D+2</b>       |  | <b>D-1</b>       | A7  |
| B5  | <b>CC2</b>       |  | <b>SBU1/AUXP</b> | A8  |
| B4  | <b>VBUS</b>      |  | <b>VBUS</b>      | A9  |
| B3  | <b>ML2+</b>      |  | <b>ML3+</b>      | A10 |
| B2  | <b>ML2-</b>      |  | <b>ML3-</b>      | A11 |
| B1  | <b>GND</b>       |  | <b>GND</b>       | A12 |

**図 29.** UFP\_D ピン割り当て E の正常プラグ方向

Receptacle Interface(Front View)

|     |                  |  |                  |     |
|-----|------------------|--|------------------|-----|
| B12 | <b>GND</b>       |  | <b>GND</b>       | A1  |
| B11 | <b>ML3-</b>      |  | <b>ML2-</b>      | A2  |
| B10 | <b>ML3+</b>      |  | <b>ML2+</b>      | A3  |
| B9  | <b>VBUS</b>      |  | <b>VBUS</b>      | A4  |
| B8  | <b>SBU2/AUXP</b> |  | <b>CC1</b>       | A5  |
| B7  | <b>D-2</b>       |  | <b>D+1</b>       | A6  |
| B6  | <b>D+2</b>       |  | <b>D-1</b>       | A7  |
| B5  | <b>CC2</b>       |  | <b>SBU1/AUXN</b> | A8  |
| B4  | <b>VBUS</b>      |  | <b>VBUS</b>      | A9  |
| B3  | <b>ML1+</b>      |  | <b>ML0+</b>      | A10 |
| B2  | <b>ML1-</b>      |  | <b>ML0-</b>      | A11 |
| B1  | <b>GND</b>       |  | <b>GND</b>       | A12 |

**図 30.** UFP\_D ピン割り当て E の反転プラグ方向

## USB4

- **USB4 の概要**
- **USB4 の検出および移行プロセス**
- **USB4 システム**
- **サイドバンド通信**
- **USB4 のレーンとデータレート**
- **損失バジェット**
- **SBU1 と SBU2 を使った DisplayPort 代替モードと USB4 のサポート**



## USB4 の概要

執筆者: Mike Campbell

USB4 規格は、以前の USB 世代よりも広い帯域幅を実現します。2019 年に発表された USB4 バージョン 1 は、USB Type-C® (USB-C®) インターフェイスを使って、総帯域幅を、USB 3.2 仕様で定義された 20Gbps から 40Gbps に高めました。2022 年、USB-IF (USB Implementers Forum) は USB4 バージョン 2 を発表し、対称動作で 80Gbps、非対称動作で 120Gbps という、さらなる速度向上を実現しました。このような広い帯域幅を使って、USB4 は PCIe (Peripheral Component Interconnect Express)、USB3、DisplayPort™ などの複数の独立したプロトコルを同じ物理インターフェイスを介してトンネリングさせる機能を備えています。USB-C のみでサポートされた USB4 は、USB2 および USB3.2 規格と下位互換であり、Thunderbolt 3 とも下位互換であるため、ユーザーは既存の製品を使うことができます。

## USB4 の検出および移行プロセス

USB4 は、以前の USB 世代とは大きく異なっています。USB-C システムでは、USB2 または USB3.2 製品は USB PD (Power Delivery) を使わなくても動作します。たとえば、USB PD 非対応の USB-C ポートに USB2 メモリを接続しても、USB Type-A レセプタクルにその USB メモリを接続した場合と同様に、その USB メモリを使用できます。

USB4 製品のすべての機能を利用するには、USB PD が必要です。検出プロセス中、ポート パートナーとケーブルの両方が USB4 をサポートしている場合、ダウンストリーム側ポート (DFP) はケーブルとポート パートナーに USB PD Enter\_USB メッセージを発行します。USB PD をサポートしていない USB-C ポートに USB4 製品を挿入すると、USB4 製品はレガシー USB モード (USB2 と USB3.2 のどちらか) で動作します。

## USB4 システム

USB4 システムはホスト、ハブ デバイス、ペリフェラル デバイス、ドックで構成され、それぞれがルータを備えています。ルータは、トンネル型プロトコルトラフィックを USB4 パケットに割り当て、USB4 ファブリックを通してパケットを転送します。図 31 に、USB4 ホスト、ハブ、デバイスのブロック図を示します。

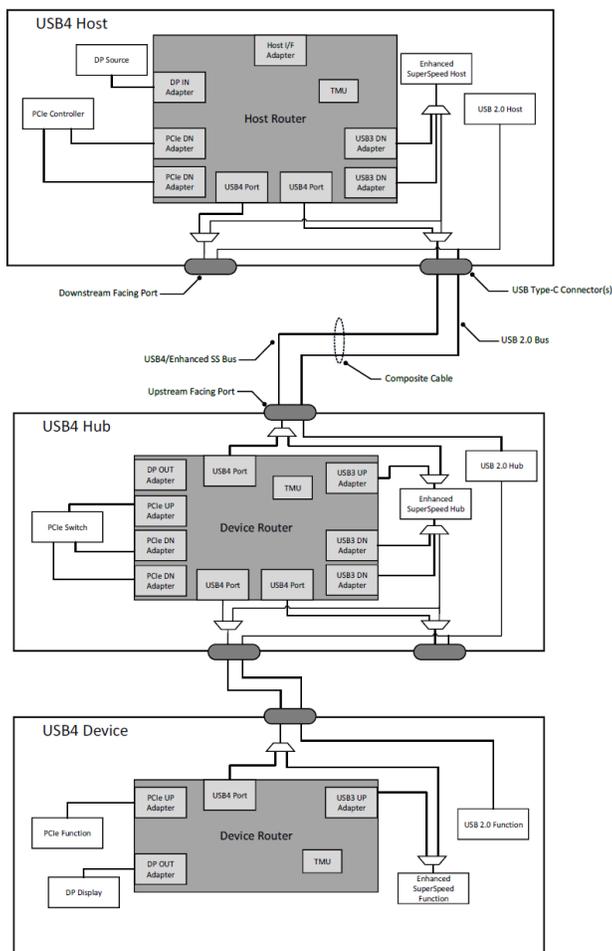


図 31. USB4 ホスト、ハブ、デバイス

ホストはホスト ルータ、USB ホストコントローラ (USB3.2 と USB2 の両方)、DisplayPort ソースを内蔵しています。ホストは複数の DFP を備えている場合があります。PCIe トンネリングがサポートされる場合、ホストは PCIe コントローラまたは PCIe スイッチを内蔵する場合があります。ホストには、USB4 ドメイン全体を列挙、構成、管理する接続マネージャソフトウェアが常駐します。図 32 に、USB4 ハブの詳細を示します。

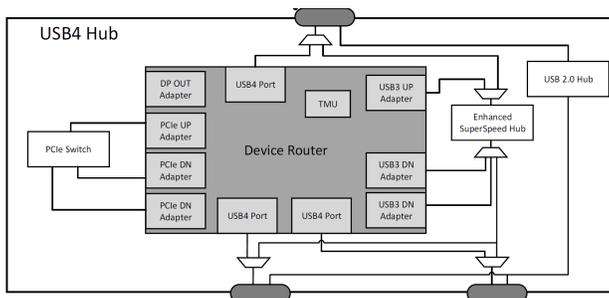


図 32. USB4 ハブ

ハブは 1 つの UFP (Upstream-Facing Port) を備えており、ホストと同様、複数の DFP を持つことができます。ハブ ルータは USB2、USB3、PCIe スイッチ、DisplayPort™ トンネリングをサポートしています。図 33 に、USB4 ペリフェラル デバイスの詳細を示します。

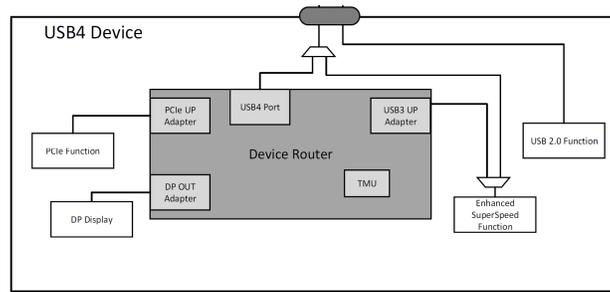


図 33. USB4 ペリフェラル デバイス

ペリフェラル デバイスは 1 つの UFP を備えており、DFP を持っておらず、任意で 1 つまたは複数の拡張 SuperSpeed ハブ、拡張 SuperSpeed 機能、PCIe スイッチまたはエンドポイント、DisplayPort ソース / シンク機能を備えることができます。図 34 に、USB4 ドックの詳細を示します。

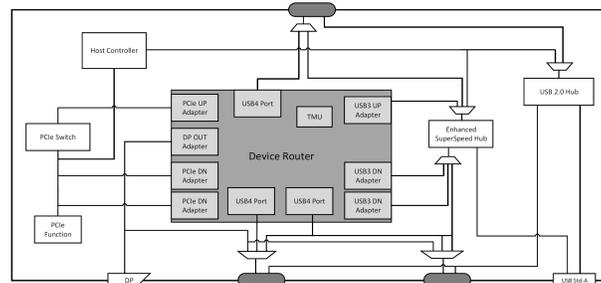


図 34. USB4 ドック

USB4 ドックは、1 つの UFP と 1 つ以上の DFP を備えた USB4 ハブと類似しています。USB4 ハブとは異なり、ドックには DisplayPort などの 1 つ以上のプロトコル アダプタが内蔵されています。

すべての USB4 コンポーネントは、スパニング ツリー構成 (ホストはツリーの上部、ハブは中央、ペリフェラル デバイスは末端に配置されています) の USB-C パッシブまたはアクティブ ケーブルを使って接続します。ホストとペリフェラル ルータの間には最大 5 つのハブを接続できます。これらの製品はすべて、サイドバンド チャネルを使って構成されます。

### サイドバンド通信

サイドバンド通信は、1 スタート ビット、8 ビットのデータ ペイロード、1 ストップ ビットの 10 ビットで構成された 3.3V LVCMOS (Low-Voltage Complementary Metal-Oxide Semiconductor) レベル 1Mbps UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) を使って実行されます。サイドバンド トランザクションは SBTX ピンを経由して送信され、SBRX ピンから受信され、USB-C レセプタクルの SBU1 および SBU2 ピンを使用します。サイドバンド通信は、以下の目的で使用されます。

- ポートが接続されているか (SBRX High > 25 $\mu$ s)、または切り離されているか (SBRX Low > 14 $\mu$ s) の確認。
- ルータの製造元と製品情報の識別。
- データレート (Gen2、Gen3、Gen4) などの USB4 リンクのパラメータの構成とレーンの有効化または無効化。
- 非対称のサポート、開始、決定。
- トランスミッタ フィードフォワード イコライゼーション リンクトレーニング ハンドシェイクと、ルータがロックされているかどうかの確認。

## USB4 のレーンとデータレート

USB4 Gen2、Gen3、Gen4 は最大 2 レーン (レーン 0 とレーン 1) をサポートしており、各レーンは送信 (TX) および受信 (RX) パスで構成されます。USB4 バージョン 2 は、USB4 Gen4 で動作している場合、非対称動作が可能です。非対称動作では、レーン 0 は不変ですが、レーン 1 は 2 つのレーン (レーン 1 とレーン 2) に分割されるため、両方のレーンを TX と RX のどちらかに構成できます。1 つの TX と 3 つの RX、または 3 つの TX と 1 つの RX を持つ非対称モードで動作する USB4 Gen4 ポートは、120Gbps のデータレートを実現します。表 11 に、USB4 のすべての世代と、それぞれに対応するレーンとデータレート性能を示します。

表 11. USB4 のデータレート

|               | 使用可能レーン | 総合データレート (Gbps) |
|---------------|---------|-----------------|
| USB4 Gen2     | 1       | 10              |
|               | 2       | 20              |
| USB4 Gen3     | 1       | 20              |
|               | 2       | 40              |
| USB4 Gen 4 対称 | 2       | 80              |
| USB4 Gen4 非対称 | 3       | 120             |

## 損失バジェット

ルーターから USB-C レセプタクルまで、すべての USB4 製品は、仕様で定義されている損失バジェット内に挿入損失を維持する必要があります。USB4 のバジェットの詳細を下表に示します。

表 12. USB4 の USB Type-C 挿入損失バジェット

|            | ホスト (dB) | ケーブル (dB) | デバイス (dB) | 合計                |
|------------|----------|-----------|-----------|-------------------|
| USB4 Gen 2 | 5.5      | 12        | 5.5       | 5GHz 時に 23dB      |
| USB4 Gen 3 | 7.5      | 7.5       | 7.5       | 10GHz 時に 23dB     |
| USB4 Gen 4 | 9.5      | 9.5       | 9.5       | 12.8GHz 時に 28.5dB |

- (1) USB4 Gen2 は、最大 2m の USB-C パッシブ ケーブルをサポートしています。USB4 Gen3 と USB4 は最大 0.8m のパッシブ USB-C ケーブルをサポートしています。

場合によっては、ルーターと USB-C レセプタクルの間の挿入損失が大きすぎるという問題を克服するため、リタイマ (RT) と呼ばれるシグナルコンディショナが必要になることがあります。USB4 仕様では、ルーターと USB-C レセプタクルの間に最大 2 つのリタイマを配置できます。USB4 仕様では、第 2 のリタイマの代わりに、ルーターと USB-C レセプタクルの近くのリタイマの間にリアリドライバ (LRD) を配置できます。図 35 に、各種使用事例を示します。

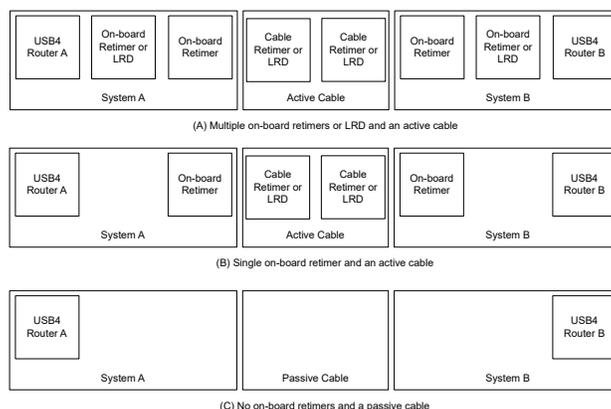


図 35. システムとケーブルの使用事例

使用事例 (A) および (B) に、システムとアクティブ ケーブルでの RT と LRD の使い方を示します。使用事例 (C) に、システムにもケーブルにもシグナル コンディショナを使わない例を示します。

ケーブル内で RT または LRD などのシグナル コンディショナを使用することは、銅線などの受動部品だけでは実現できない長さに Type-C ケーブルを延長することを意図しています。このタイプのケーブルはアクティブ ケーブルと呼ばれ、USB-C 仕様で定義されています。

### SBU1 と SBU2 を使った DisplayPort 代替モードと USB4 のサポート

USB4 ホストは、レガシー USB 製品だけでなく、USB-C ドッキング ステーションなどの DisplayPort 代替モード製品もサポートできる必要があります。両方のタイプの製品をサポートするには、ホストは USB-C SBU1 および SBU2 ピンを使って、USB4 サイドバンド (SBTX と SBRX) と DisplayPort サイドバンド (AUXP と AUXN) の両方を多重化する必要があります。図 36 に、SBU1 と SBU2 を使って USB4 サイドバンド信号と DisplayPort サイドバンド信号を多重化する方法の例を示します。

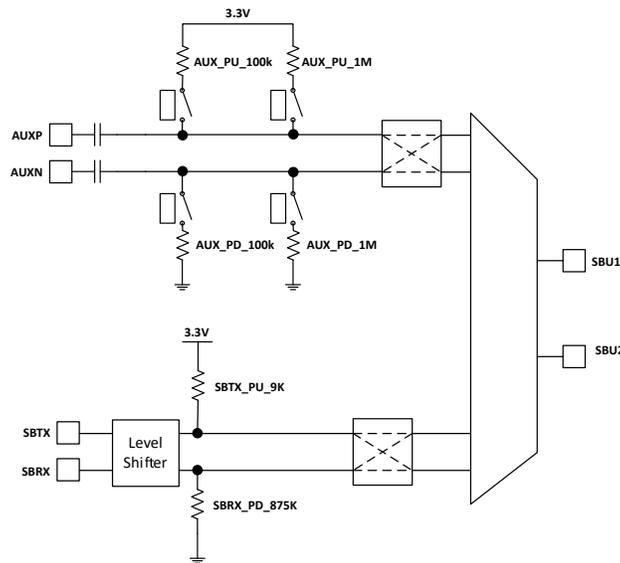


図 36. USB4 および DisplayPort サイドバンド多重化

図 36 に、DisplayPort 仕様で必要とされる補助バイアスと、USB4 仕様で必要とされる SBTX プルアップ抵抗と SBRX プルダウン抵抗を示します。参考として表 13 に、これらの抵抗を示します。USB4 ルータまたはリタイマが、USB-C レセプタクルに現れる 3.3V LVCMOS レベルをサポートしていない場合、SBRX と SBTX のレベル シフタが必要になることがあります。図 36 の部品の一部またはすべてを、リタイマまたはディスクリット サイドバンド マルチプレクサに統合することができます。

表 13. USB4 と DisplayPort のプルアップおよびプルダウン抵抗

| パラメータ                        | 最小値 (kΩ) | 最大値 (kΩ) |
|------------------------------|----------|----------|
| SBTX プルアップ抵抗                 | 7        | 10.5     |
| SBRX プルダウン抵抗                 | 700      | 1050     |
| DisplayPort ソース AUXP プルダウン抵抗 | 10       | 105      |
| DisplayPort ソース AUXN プルアップ抵抗 | 10       | 105      |
| DisplayPort シンク AUXP プルアップ抵抗 | 800      | 1,200    |
| DisplayPort シンク AUXN プルダウン抵抗 | 800      | 1,200    |

## eUSB2 の概要

- 概要 •
- eUSB2 の概要 •
- eUSB2 モード •
- その他の特長 •



## 概要

執筆者: Nicholas Malone

前の章で説明したように、USB 3.2 および 4.0 仕様は、USB バスを経由した高速データ転送を可能にしています。USB Type-C® (USB-C®) コネクタの SuperSpeed レーンはこれらの新しいデータレートをサポートしています。ただし、USB-C コネクタの D+ および D- レーンは、2000 年に公開された元の USB 2.0 仕様を引き続きサポートしています。

最大速度が 480Mbps であるにもかかわらず、その信頼性と多くの USB デバイスとの相互運用性により、USB 2.0 は、世界で最も普及しているインターフェイスの 1 つとなっています。また、USB 2.0 は、3.3V の振幅を持つ最新のすべてのインターフェイスの中で、最大の信号レベルを持っており、一部の最新アプリケーションで技術的な課題をもたらす可能性があります。その高い電圧は、7nm 以下のテクノロジーノードの酸化膜を損傷させる可能性があります。そこで、2014 年、USB-IF (USB Implementers Forum) はこの問題に対応するため、USB リビジョン 2.0 仕様の組み込み USB 2.0 (eUSB2) 物理層 (PHY) サプリメントを発表しました。eUSB2 仕様では、敏感な部品の損傷を防止するため、低電圧信号伝達を使った USB 2.0 通信が可能です。

## eUSB2 の概要

eUSB2 仕様の策定により、従来の USB 2.0 では利用できなかった多くの機能が導入されました。

- プロセス スケーラビリティは、3.3V 入出力 (I/O) 信号伝達をなくした低電圧 USB 2.0 PHY ソリューションを提供することで、プロセス テクノロジー ノードの微細化に合わせて USB 2.0 を低電圧化できます。
- リンクのアクティブおよびアイドル電力効率を改善するための I/O 電力効率。
- PHY アナログ回路の削減と、PHY 機能用デジタル回路の採用。
- USB 2.0 デバイスのサポート – eUSB2 と USB 2.0 は電氣的互換性はありませんが、USB 2.0 のサポートを可能にするための機構を本仕様は定義しています。

eUSB2 は PHY を補完するものに過ぎません。つまり、eUSB2 は USB 2.0 とは異なる電氣的パラメータを持っています。どちらも、同じプロトコル層仕様を共有しています。eUSB2 のパケット構造は USB 2.0 と同じであり、同じ標準データレート (LowSpeed、FullSpeed、HighSpeed) をサポートしています。ただし、すでに説明したように、信号電圧レベルはより低いです。LowSpeed および FullSpeed 通信は、3.3V から、1.2V と 1.0V のどちらかまで下がり、HighSpeed 差動スイングは USB 2.0 の半分になります。USB 2.0 インターフェイスと eUSB2 インターフェイスの類似性は実装の簡略化を容易にしますが、信号レベルの違いは、従来の USB 2.0 デバイスとの相互運用性の問題を生じさせます。ネイティブ モードでは、eUSB2 デバイスはその他の eUSB2 デバイスとのみ通信できます。

## eUSB2 モード

eUSB2 デバイス間には、ネイティブ モードとリピータ モードという 2 つの主要な通信モードがあります。eUSB2 において、電氣的データ信号を伝送する 2 つのチャネルは eD+ と eD- です。ネイティブ モードでは、ホストの eD+ および eD- チャネルは eUSB2 ペリフェラル デバイスのトランシーバに直接接続されます。図 37 に示すように、2 つの eUSB2 トランシーバは互いに直接通信します。

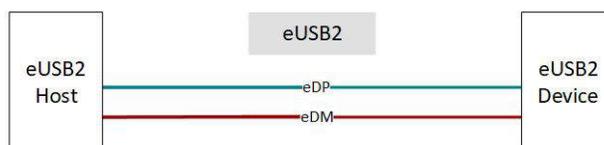


図 37. ネイティブ モード

ネイティブ モードは主にチップ間相互接続に使用され、USB 2.0 デバイスとの相互運用性をサポートしていません。USB 2.0 通信のサポートが必要な場合に備えて、下位互換性を実現するため、eUSB2 仕様は eUSB2 リピータを定義しています。

eUSB2 リピータは、eUSB2 信号と USB 信号の間の「変換」を行うデバイスです。eUSB2 リピータは eUSB2 デバイスと USB 2.0 デバイスの間の通信を可能にします。USB 2.0 とは異なり、eUSB2 の LowSpeed および FullSpeed 通信用の信号はシングルエンドです。差動信号からシングルエンド信号への切り替えは、eUSB2 リピータが単に 3.3V から 1.2V への電圧レベル シフトではないことを意味します。

eUSB2 リピータは、ホスト リピータとペリフェラル リピータのどちらかとして構成できる必要があります。リピータの構成は、USB アーキテクチャにおけるその役割を確立します。USB バスごとに許される eUSB2 ホストは 1 つのみです。eUSB2 リピータが eUSB2 インターフェイスを通してホストに接続されている場合、その eUSB2 リピータはホストによってホスト リピータとして構成されます (図 38 を参照)。構成の後、eUSB2 ホストは、リピータに接続された下流の USB 2.0 デバイスと通信できるようになります。

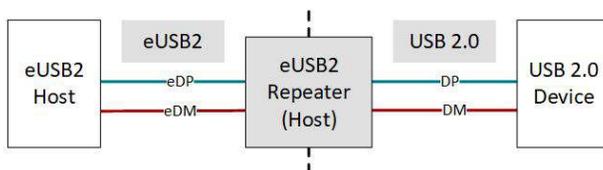


図 38. ホスト リピータ モード

USB ホストとは異なり、ペリフェラルは 1 つの USB バス上に複数存在できます。各 eUSB2 ペリフェラルが USB 2.0 ホストと通信するため、eUSB2 リピータはペリフェラル リピータとして構成される必要があります (図 39 を参照)。

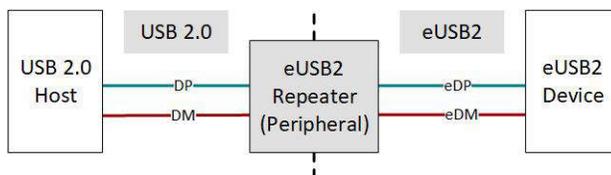


図 39. ペリフェラル リピータ モード

ホストとペリフェラル リピータのどちらかとして動的に構成されることができる機能を使うと、接続された eUSB2 デバイスがホストとペリフェラルのどちらかとして機能できるデュアルロール アプリケーションで eUSB2 リピータを使用できます。このデュアルロール機能は、モバイル アプリケーションで一般的に使用されています。

また、1 つの USB 2.0 リンク上に、eUSB2 ホストと eUSB2 ペリフェラルの両方を配置することも可能です。USB ケーブルを必要とするアプリケーションでは、ホストとペリフェラルの両方にリピータが必要になる場合があります。eUSB2 インターフェイスはチップ間インターコネクタ用に設計されており、USB ケーブルとは互換性がありません。ホストとペリフェラルの両方が eUSB2 に対応している場合、バック ツー バック リピータ アプリケーションにも対応できます (図 40 を参照)。

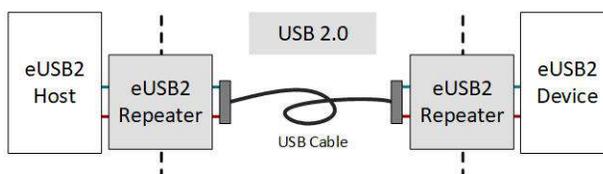


図 40. バック ツー バック リピータ アプリケーション

これは、通常デュアルロールに対応しているノート PC、携帯電話、タブレットなどの携帯型電子機器において、最も一般的です。リピータを使うと、eUSB2 ホストと eUSB2 ペリフェラルの両方が、USB ケーブルを介した USB 2.0 インターフェイスを使用して相互に通信できます。

### その他の特長

eUSB2 リピータは、構成後にリピータ ステート マシンを制御する eUSB2 信号パターンである制御メッセージに応答する必要があります。CM.RAP を除くと、制御メッセージはネイティブ モードでは使用されません。これらは USB 2.0 バスに転送されるようには作られておらず、eUSB2 リピータまたはペリフェラルによってのみ受信および解釈されるように作られています。

RAP (Register Access Protocol) は、実装をさらに簡素化するために eUSB2 で導入された追加機能です。CM.RAP (表 1 を参照) は、RAP インターフェイスをアクセスするために使用される制御メッセージです。構成には、I<sup>2</sup>C インターフェイスを使用するのが一般的です。独立した I<sup>2</sup>C インターフェイスを実装する代わりに、RAP は eUSB2 リピータまたはペリフェラルのレジスタ空間に eUSB2 経由で直接 アクセスできます。このベンダ定義のレジスタ空間は、オペランドおよびターゲット レジスタ アドレスと一緒に CM.RAP コマンドを発行することで変更できます。RAP を使うと、システム設計者は、I<sup>2</sup>C 通信で通常必要とされる部品と汎用 I/O ピンを使わずに済むため、システム コストとフットプリントを低減できます。

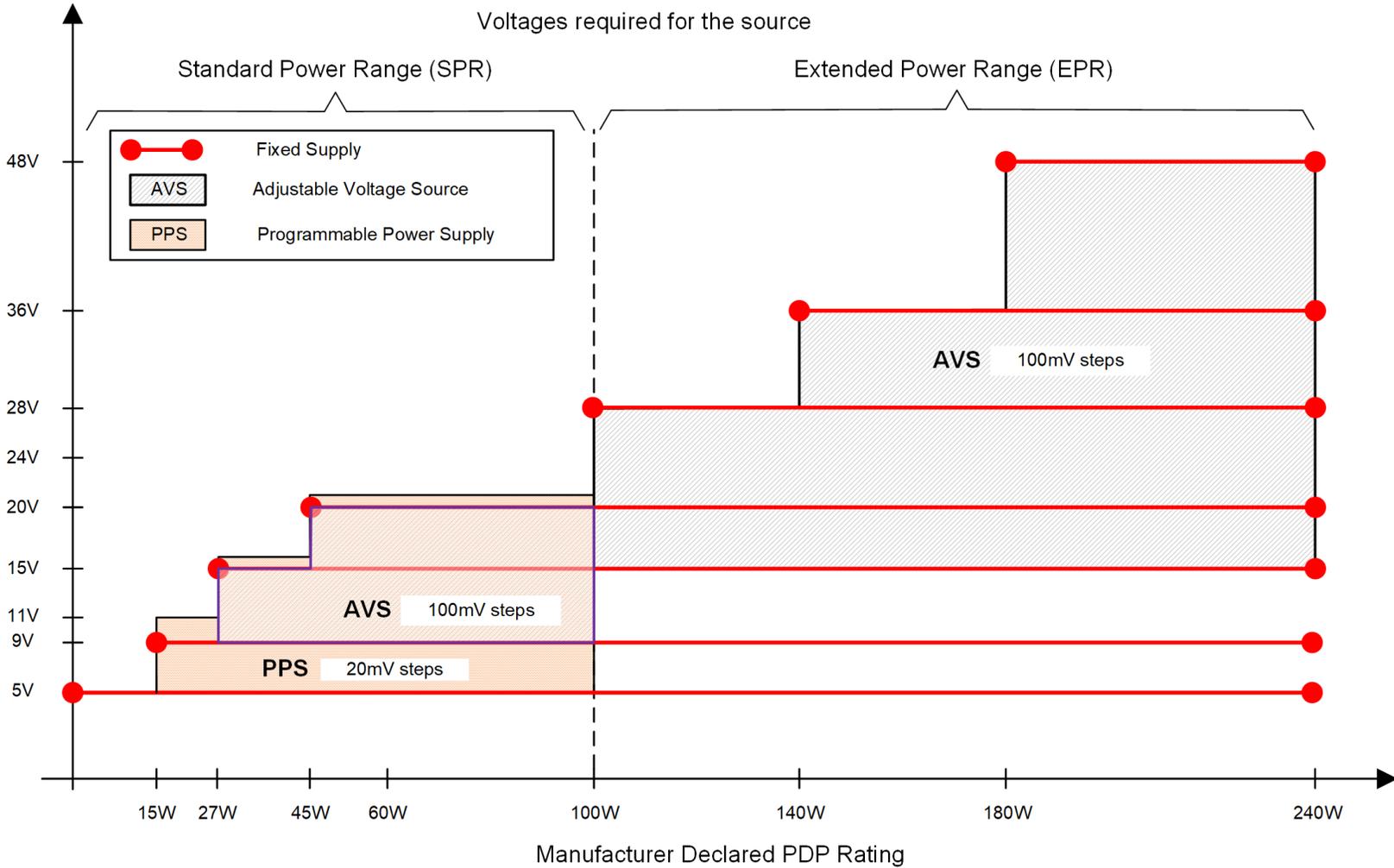
表 14. eUSB2 制御メッセージ

| 制御メッセージ名        | 概要                   |
|-----------------|----------------------|
| <b>CM.FS</b>    | FullSpeed 終端に復帰      |
| <b>CM.L1</b>    | L1 電力状態に移行           |
| <b>CM.L2</b>    | L2 電力状態に移行           |
| <b>CM.Reset</b> | USB 2.0 バス リセット      |
| <b>CM.Test</b>  | HighSpeed 終端を強制的に有効化 |
| <b>CM.RAP</b>   | RAP アクセスの開始          |

これは現在でも比較的新しいインターフェイスですが、最新のプロセッサ テクノロジー ノードが 7nm 未満に微細化し続けるにつれて、eUSB2 ホスト、デバイス、リピータは成長し続けると予想されています。

# 拡張電力範囲 (EPR)

- 概要
- EPR とは
- 技術仕様
- 100W を上回る場合の安全への影響
- テキサス・インスツルメンツの PD コントローラとの間の電力ネゴシエーションの処理
- まとめ



## 概要

執筆者: Taylor Vogt, Adam McGaffin

このセクションでは、USB-C® インターフェイスを使用して、より大電力のアプリケーションを実現するための、最新の開発の一部について紹介します。2021 年の USB PD (Power Delivery) 3.1 USB IF (Implementers Forum) 仕様 [CCH1] に追加された拡張電力範囲 (EPR) では、USB-C コネクタの最大電力が 100W から 240W に増加しています。最初に EPR の基礎と標準的な USB-C との違いを説明し、その後、その技術仕様と電力ネゴシエーションシーケンスについて詳しく説明します。

## EPR とは

最近まで、USB PD 3.0 仕様では、電力とデータの両方について、最大 100W (20V、5A、認証済み USB-C ポートおよびケーブル使用時) の電力レベルと双方向性を許容していました。最新の USB PD 3.1 仕様では、この制限値が 240W (48V、5A、USB-C ケーブル使用時) に拡大されています。

以前の USB PD 範囲は標準電力範囲 (SPR) であり、新しい電力範囲 (100W と 240W の間) は EPR です。これにより、消費電力がより大きいデバイスで USB-C インターフェイスを実装できるようになりました。また、重い電源アダプタの数を減らし、1 本の USB-C ケーブルに集約することもできます。表 15 に、新しい EPR と元の SPR との比較を示します。

表 15. SPR と EPR の固定電圧範囲

| 電力範囲         | 利用可能な電流と電圧   | PDP 範囲                            | 注                 |
|--------------|--|-----------------------------------|-------------------|
| 標準電力範囲 (SPR) | 3A: 5V/9V/15V/20V<br>5A (1): 20 V                            | 15~60W<br>> 60~100W               |                   |
| 拡張電力範囲 (EPR) | 3A (2): 5V/9V/15V/20V<br>5A (2): 20 V<br>5A (2): 28V、36V、28V | 15~60W<br>> 60~100W<br>> 100~240W | EPR モードへの移行が必要です。 |

- (1) 5A ケーブルが必要です。  
(2) EPR ケーブルが必要です。

## 技術仕様

EPR は最大 240W の電力 (5A で 28V、36V、48V) をサポートできます。EPR モードは、シンク デバイスの要件と同じ要件 (一般的な USB PD コントラクト ネゴシエーションの場合のように、新しいソース能力メッセージを評価し、それに応答すること) を持っています。EPR モードに移行すると、ポートは最大 240W (48V、5A) の電力供給オブジェクト (PDO) のネゴシエーションを行います。この 48V の電圧は、設計上の安全マージンを考慮した場合の実用的な制限値を表します。

拡張レンジの固定電圧レベル拡張に加えて、電源は可変電圧源 (AVS) の仕様にも従う必要があります。EPR モードでは、AVS を使うことで、9V と 48V の間 (100mV 刻み) でシンクが最適電圧を微調整できるため、性能と熱効率が向上し、シンクは任意のチャージャから柔軟に電圧を受け取ることができます。そのため、設計者はカスタム アダプタを使わずに、開発中の電子エコシステムにふさわしいユーザー体験を生み出すことができます。プログラマブル電源 (PPS) は AVS に類似していますが、5V と 20V の間を 20mV 刻みで調整できます。これら 2 つは類似していますが、同じ使用事例を目的としたものではありません。PPS には電流制限 (50mA 刻み、±5%) が必要ですが、USB-IF 認証取得済みチャージャは PPS を内蔵する必要はありません。USB-IF は、PPS を内蔵した「高速チャージャ」と、PPS を持たない「チャージャ」を認証しています。

図 41 に、SPR と EPR の電力レベルの関係と、これらの電力範囲との AVS と PPS の重なりを示します。

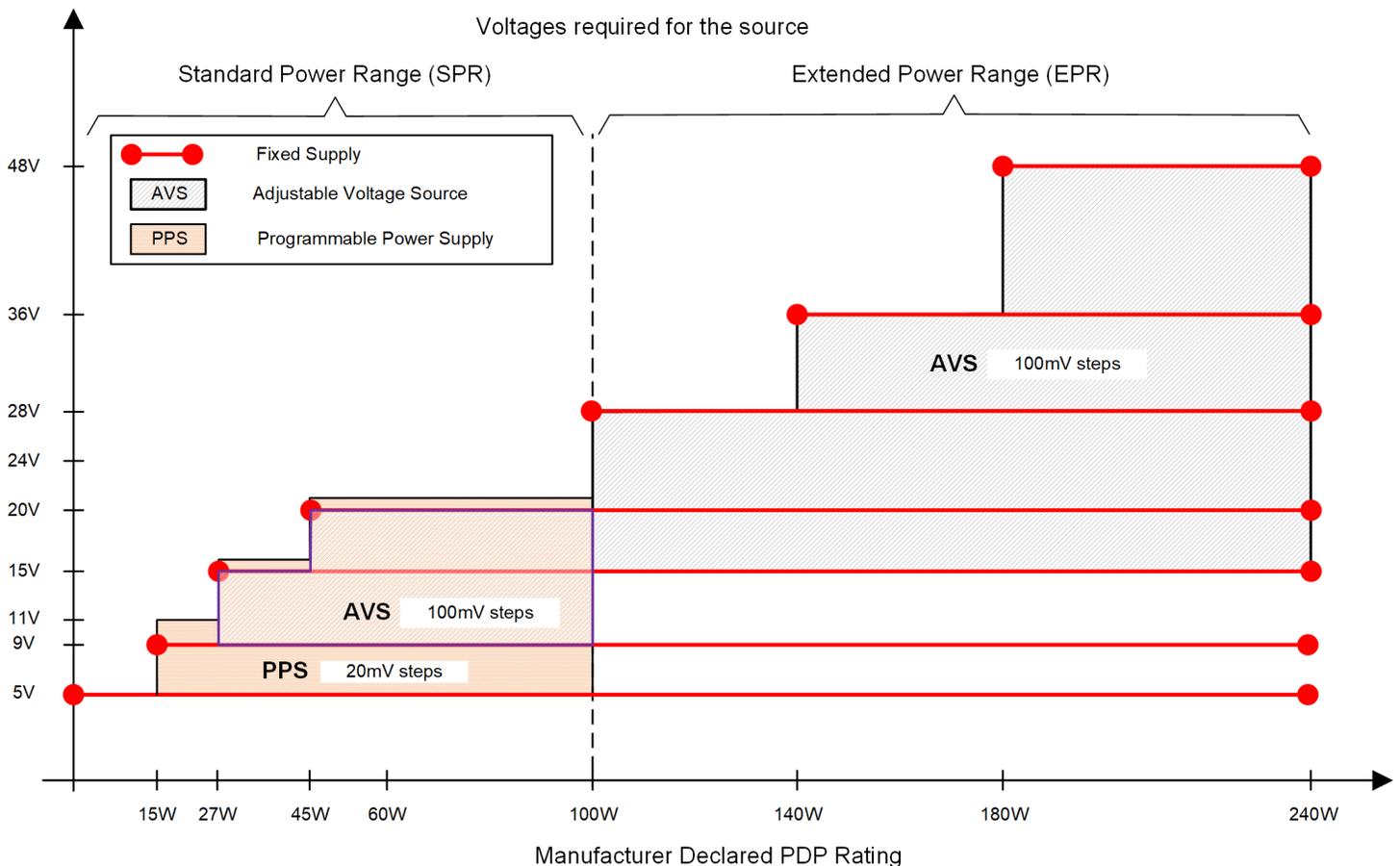


図 41. SPR と EPR の AVS と PPS の範囲

### 100W を上回る場合の安全への影響

電源と供給元の要件に加えて、100W を上回るアプリケーションを使用する場合、安全性規格を満たすため、追加の機能も利用できます。具体的には、EPR をサポートするためのケーブルに関する追加の要件が利用できます。EPR 互換ケーブルには、図 42 に示すロゴを使って視認できるマークを付けることはできなくなりました。代わりに、ケーブル自体のロゴによって、最大 240W をサポートしているケーブルを確実に識別できます。通常、これは、より高い電圧でより発生しやすい過渡事象とリングングを低減するための、高電圧定格のバイパス コンデンサと追加スナバ回路がケーブル設計に含まれる可能性があることを意味しています。また、5A 定格のケーブルは生産中止になることも意味し、最終的には USB-IF はもはや元の 20V/5A ケーブルに対する認証は行わなくなります。この決定は、すべての 5A ケーブルが EPR 対応である状態に市場を移行させ、ケーブルの問題に関する消費者の混乱を減らします。これらのケーブルは、USB-IF 認証済み USB PD コントローラを使用することを前提として、旧式の USB エコシステム デバイスとの下位互換性を確保しています。

**Certified USB Logo Program**  
For certified solutions based upon the USB4™, USB Type-C® and/or USB Power Delivery Specifications

|                                   | Packaging Logo Examples | Cable/Port Logo Examples | Combined USB4™ Data/Watts Logo Examples |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| Certified USB4™ 40Gbps*           |                         |                          |   |
| Certified USB Type-C® 240W Cable* |                         |                          |   |
| Certified USB 240W Charger        |                         | N/A                      | N/A                                     |

\* Certified Logos available for USB Type-C® 60W Cables and USB4™ 200Gbps solutions.  
\*\* Only for use on Certified USB Type-C® Cables.  
USB4™, USB Type-C® and USB-C® are trademarks of the USB Implementers Forum.  
USB Implementers Forum © 2021

図 42. 認証済み USB ロゴ プログラム

100W を上回るアプリケーションでは、コントラクトを承認する前に EPR モードに入る上での制約に注目することが重要です。新しいハンドシェイクの目的は、ハンドシェイクの中の 1 つの間違いが EPR コントラクトにつながるものが決まらないようにすることです (安全監督機関の規制を満たすため)。この新しいハンドシェイクを使うと、レガシー シンクが誤って EPR コントラクトを要求する心配はありません。

### テキサス・インスツルメンツの PD コントローラとの間の電力ネゴシエーションの処理

EPR 電力ネゴシエーションは、提案、要求、承諾または拒否の観点で、今日の USB PD のシーケンスに似ています。ただし、EPR コントラクトに入る前に SPR コントラクトに入る必要があります。新しい EPR ネゴシエーション プロセスには、ケーブルが EPR 対応かどうかと、ソースがこれらの拡張電力レベルを供給できるかどうかの確認が含まれます。図 43 に、一般的なコントラクト ハンドシェイクの流れの例を示します。

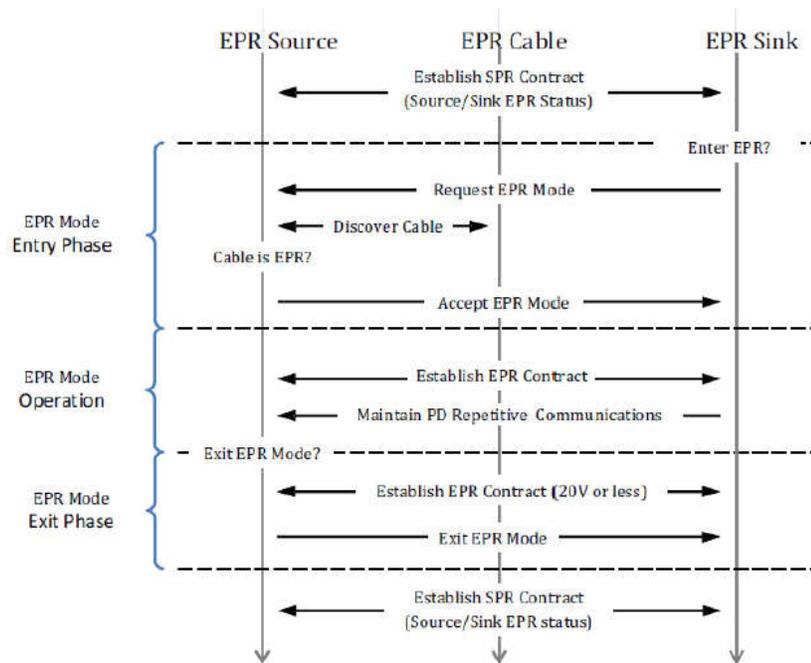


図 43. EPR ネゴシエーション シーケンス

シンク側は EPR モードへの移行プロセスを主導します。シンクが最初にこのモードを要求せず、このモードに誘導しない場合、ソース側は EPR 移行を押し進めることはできません。その後、ソースは、拡張電圧をソースする前に、シンクとケーブルが EPR に対応していることを確認します。シンクの能力と、ケーブルとシンクが EPR に対応していることを確認するため、シンク側からの EPR 要求メッセージには PDO のコピーが含まれています。EPR モードに入った後、シンク側とソース側の両方が開いており、かつアクティブであることを確認するため、シンクは約 0.5 秒ごとに「キープ アライブ」メッセージを継続的に送信する必要があります。ソースが約 1 秒以内にこのメッセージを受信しない場合、ソースはハード リセットを開始し、その後、デフォルトの 5V 動作の SPR モードに戻ります。

テキサス・インスツルメンツは、この新しい技術の安全性を確保するため、USB-IF と緊密に連携しました。新しい EPR ネゴシエーションプロセスの安全性を検証できるように、複数の機能安全の専門家が独立した形で 240W 機能を監査しました。最も重要なことは、EPR モードに入るまで、ソースは EPR で利用可能な電圧を提案できないということです。EPR では、20V を超える USB PD コントラクトのネゴシエーションを正常に行うため、新たに定義された特定のシーケンスの USB PD メッセージを使用する必要があります。これにより、1 つのメッセージのエラーによって、20V を超える電圧のネゴシエーションが行われることが絶対ないようにしています。

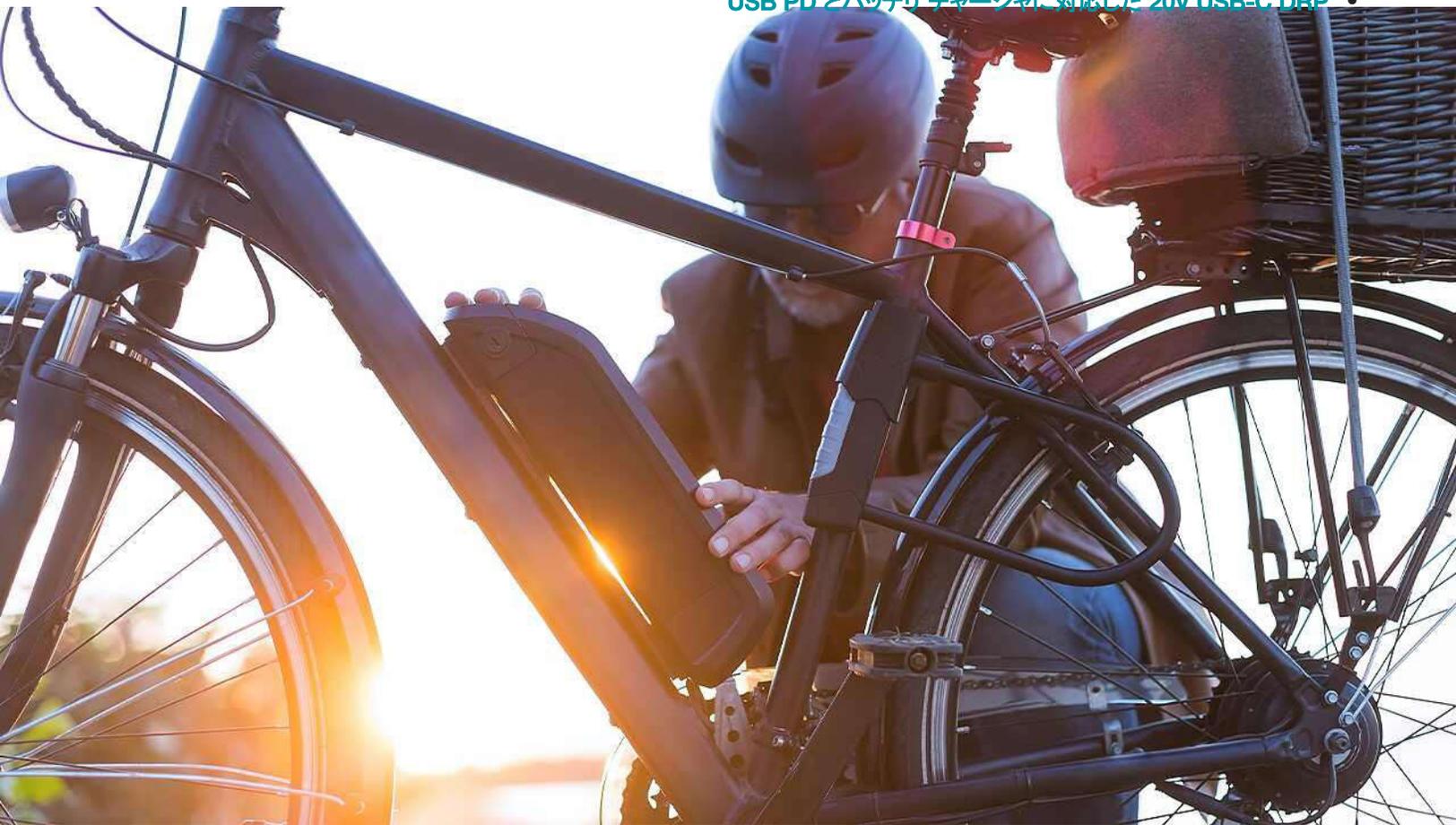
新しい EPR ネゴシエーション シーケンスの詳細については、[USB-PD 仕様](#)を参照してください。

## まとめ

EPR は、USB-C エコシステムにおける明確な新しい進歩です。これらの拡張電圧レベルは高電力アプリケーションを可能にします。これらの高電力アプリケーションは USB-C インターフェイスの使用事例を拡大します。新しいケーブル配線仕様とパワー パス設計に関しては複数の課題がありますが、最終的にその柔軟性と下位互換性は、USB-C インターフェイスを一般化する上での強固な下地を作るはずで

## USB Type-C® と USB パワー デリバリの代表的な使用事例とブロック図

- 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし) •
- 基本機能ブロック •
- USB 3.0 データ対応 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし) •
- 5V USB-C シンク専用ポート (USB PD なし) •
- 5V USB-C DRP (USB PD なし) •
- USB PD 対応 20V USB-C ソース専用ポート •
- USB PD 対応 20V USB-C シンク専用ポート •
- USB PD と DisplayPort™ 代替モードに対応した、5V ソース、20V シンク USB-C ポート •
- USB PD とバッテリーチャージャーに対応した 20V USB-C DRP •



## 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし)

執筆者: Eric Beljaars, Adam McGaffin

従来の USB Type-A ポートが USB-C ポートに変更される場合、コネクタの小型化と双方向化と、出力電力の増加という利点をその製品は享受できます。一般的な USB-C ソースポートは最大 15W (5V、3A) をサポートできます。ただし、5V で 1.5A を出力するソリューションも複数存在します。

### 基本機能ブロック

構成チャネル (CC) ライン上でプルアップまたはプルダウン抵抗が提示される (検出できるようにする) ことで、USB-C 接続が確立されます。USB-C ソース専用ポートには、CC ライン上にプルアップ抵抗 ( $R_p$  と呼ばれます) が必要です。RP の値は、アドバタイズする必要がある電流の大きさに応じて変化します。USB-C ソース専用ポートでサポートされる最も一般的な電流レベルは、デフォルトの USB 電力 (USB2 の 500mA、USB3 の 900mA)、1.5A、3A です。「USB Type-C 仕様の終端パラメータ」セクションに、これらの各電流値に対応する  $R_p$  抵抗値を示します。

一般に、5V USB-C ソース専用ポートのシステムを設計する場合、CC コントローラ IC が CC ライン上で  $R_p$  の正しい値が自動的に提示されることを保証します。

CC ライン上で  $R_p$  が検出できるようにするのに加えて、5V USB-C ソース専用ポートは、RP によってネゴシエーションされる電流よりも多くの電流を流す非準拠シンクデバイスに対しても保護できる必要があります。たとえば、3A の  $R_p$  を提示している場合、接続されたシンクデバイスは、3A を上回る電流を流さないようにする必要があります。シンクはネゴシエーションされた電流レベルを超えないようにする役割を担っていますが、ネゴシエーションされた電流よりも大きい電流を非準拠シンクデバイスが流そうとする場合に備えて、ソースは実際には過電流保護を実装する必要があります。

この電流制限を実装するには、複数の方法があります。たとえば、何らかの形の電流測定機能を備えたディスクリート パワーパスを設計する方法、または電流制限機能を内蔵したロードスイッチを使用する方法があります。最も簡単な方法は、パワーパスを内蔵した CC コントローラを使用することです。これにより、提示された  $R_p$  の値に基づく電流制限機能を自動的に実装できます。

5V USB-C ソース専用ポートを実装するには、CC コントローラと 5V ロードスイッチという 2 つの重要なブロックが必要です。図 44 を参照してください。

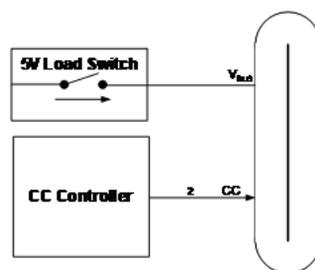


図 44. 5V ソース専用ポートのブロック図

## USB 3.0 データ対応 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし)

5V USB-C ソース専用ポートに USB 3.0 データレートを実装する場合、追加のシステムブロックとして USB 3.0 マルチプレクサが新たに必要になります。USB 3.0 では、USB-C コネクタの SSTX および SSRX ピンを使用します。適切なピンをシステム内の USB 3.0 物理層 (PHY) に転送するため、CC コントローラによって制御されるマルチプレクサが USB-C コネクタの双方向反転を

処理します。CC コントローラは、CC の極性を示すための汎用入出力 (GPIO) を備えています。CC コントローラからのこの GPIO 出力は、マルチプレクサの極性制御入力に接続されています。

マルチプレクサが必要とされるのに加えて、 $V_{CONN}$  をサポートするため、USB 3.0 データをサポートする USB-C ポートも必要とされます。USB 3.0 ケーブルには通常、 $V_{CONN}$  から給電される E マーカーまたはアクティブ リドライバが内蔵されているためです。 $V_{CONN}$  は、未使用の CC ピンに供給されることに注意します。 $V_{CONN}$  は別のロードスイッチまたはパワー パスを使って個別に実装することもできますが、 $V_{CONN}$  機能を追加する最も簡単な方法は、 $V_{CONN}$  パワー パスを内蔵した CC コントローラを使用することです (図 45 を参照)。

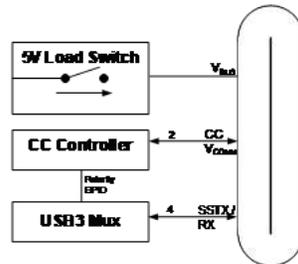


図 45. USB3 対応 5V ソースのマルチプレクサのブロック図

どちらの方向の USB 3.0 データをサポートする場合でも、 $V_{CONN}$  をサポートし、USB 3.0 マルチプレクサを内蔵するための要件は変わりません。USB 3.0 マルチプレクサのタイプは、上向きポートと下向きポートのどちらが必要かによって異なります。しかし、CC コントローラと USB 3.0 マルチプレクサの間の GPIO インターフェイスは同じままです (極性を示すための 1 つの GPIO)。これらの階層要件は同じであるため、5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし) の残りのセクションでは、電源アーキテクチャの違いに注目します。

### 5V USB-C シンク専用ポート (USB PD なし)

USB-C ポートを使うシステムの要件によっては、最大 15W の電力をシンクするための USB-C ポートの実装は、ソース専用ソリューションとかなり異なる場合があります。通常、USB-C シンク専用ポートを実装する場合、その USB-C ポートに入ってくる電力でシステム全体に電力を供給することが多いです。

5V USB-C シンク専用ポートを実装する場合、場合によっては CC ライン上に 2 つの  $R_d$  抵抗を接続するだけで済むことがあります。それ以外の場合、必要とされるブロックは、5V USB-C ソース専用ポートを実装する際に必要とされるブロックに非常によく似ています。ソリューションに最も大きな影響を及ぼす 2 つの変数は、 $V_{BUS}$  の静電容量の大きさと、USB 3.0 データをサポートする必要があるかどうかです。

最も単純な状態では、USB-C コネクタの各 CC ピンに  $R_d$  抵抗 (5.1k $\Omega$ ) を接続することで、5V USB-C シンク専用ポートを有効化できます。ただし、この方法は、 $V_{BUS}$  で観測される容量の大きさが 10 $\mu$ F よりも小さい場合にのみ可能です。システムの静電容量が 10 $\mu$ F を上回る場合、USB-C 接続の確立時に有効化されるパワー パスまたはロード スイッチを使って、この追加の静電容量を分離する必要があります。この接続は個々に検出できますが、シンクとしての USB-C 接続を検出する最も簡単な方法は、CC コントローラを使って検出することです。一般的な CC コントローラは、接続状態に基づいてパワー パスを制御するための GPIO 出力を備えています。

CC コントローラを必要とするもう 1 つの例は、USB 3.0 データをサポートする必要がある場合です。USB 3.0 データに対応する USB-C ソース専用ポートの例と同様に、ここでも独立した USB 3.0 マルチプレクサが必要です。このマルチプレクサを制御するため、CC コントローラが必要になります。

図 46 に、 $V_{BUS}$  容量と USB 3.0 の要件に応じて、5V USB-C シンク専用ポートを実装するために必要な各種ブロックを示します。

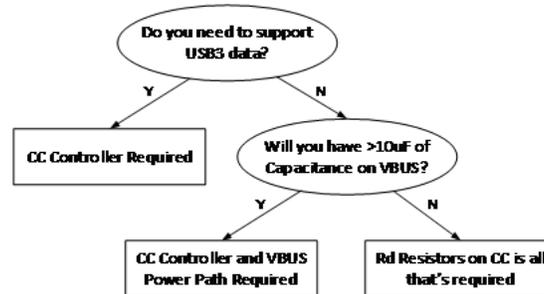


図 46. CC コントローラを選択

## 5V USB-C DRP (USB PD なし)

USB-C ポートが、出力電力を供給 (ソース) するだけでなく、電力を消費 (シンク) できる必要がある場合、USB-C デュアルロールポート (DRP) を実装する必要があります。ここでも、CC コントローラが必要になります。DRP 機能をサポートする場合、接続を行う前に、CC ラインは  $R_p$  の提示と  $R_d$  の提示を能動的に切り替えます (CC トグルと呼ばれます)。基本的に、CC 上に  $R_d$  が存在するシンク専用デバイスにデュアルロールポートを接続する場合、CC のトグルは停止し、CC ラインが  $R_p$  に切り替わると接続が確立されます。ソース専用ポートを接続する場合は、その逆が当てはまります。2 つの DRP ポートを互いに接続した場合、どちらのポートがソースとして接続され、どちらのポートがシンクとして接続されるかは、トグルする 2 本の CC ラインが最終的に落ち着いた状態に応じて、やや無作為的に決まります。お使いのシステムが特定の電源状態を必要とする場合、別の DRP に接続した後、結局ポート ロールが誤っていると分かった場合に電源ロール スワップまたはデータロール スワップを常に送信できる USB-C ポートを実装するのが一番良いでしょう。

電源アーキテクチャの観点からは、DRP システムは、DRP CC コントローラによって制御される 2 つの独立したパワーパスを備えていることが望ましいです。このような場合、システム内の専用 5V レールをソース パワーパスに接続します。または、個別のシンクパワーパスをバッテリーチャージャまたはその他のシステム電源レールなどに接続することもできます。図 47 に、システムブロック図を示します。USB 3.0 データが必要な場合、 $V_{CONN}$  と USB 3.0 マルチプレクサもシステム内に必要です。

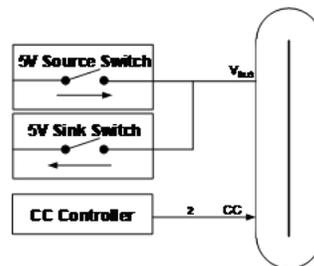


図 47. 5V デュアルロールポートのブロック図

システムの電源アーキテクチャが許容する場合、双方向パワーパスを使うことで、それに対応できる場合もあります。たとえば、一部のバッテリーチャージャは、バッテリーチャージャを双方向にできる OTG (On-the-Go) モードをサポートしています。このような場合、双方向パワーパスを使う方が理にかなっています。

## USB PD 対応 20V USB-C ソース専用ポート

電力が 15W を上回ると、必要とされるコントローラが、標準の USB-C コントローラから USB PD コントローラに変わります。15W を上回る電力に対応するには、その電力の大きさに両側のポートが確実に対応できるように、ポート パートナー間の USB PD ネゴシエーションが必要とされます。

多くの種類の最終製品 (AC/DC アダプタ、ドッキング ステーション、車載充電ポート、壁コンセントなど) は、ソース専用ポートを実装することで 20V の電力を供給できます。接続されたデバイスに電力を供給するように設計された製品は、最終的にはこの方法で USB PD システムを実装することになります。これらのアプリケーションは、データの観点からすれば異なる要件を持っていますが、USB-C ケーブルで 15W を上回る電力を供給するという共通の要件を共有しています。

USB PD を使用して 20V USB-C ソース専用ポートを設計する場合、システム レベル設計に影響を与える、留意すべき複数の USB-IF 仕様が存在します。

USB PD ソース専用ポートの初期接続と CC ライン上の  $R_p$  の要件は、USB PD に対応していない 5V USB-C ソース専用ポートの場合と同じです。5V を上回る電圧を可能にするには、USB PD ネゴシエーションを実行する必要があります。ネゴシエーションの対象となる電圧に応じて、USB PD コントローラは、必要とされる出力電圧を供給するため、可変電源の出力を調整する必要があります。

USB PD 仕様は、ネゴシエーションされたパワー データ オブジェクト (PDO) の  $\pm 5\%$  以内に出力電圧が入っていることを求めています。図 48 に、USB PD を採用した 20V USB-C ソース専用ポートの代表的なブロック図を示します。USB PD ネゴシエーションを処理するには USB PD コントローラが必要であるため、CC コントローラの代わりに USB PD コントローラが使われていることがわかります。また、5V ソース専用設計の場合と同様に 20V ロード スイッチを内蔵しており、ソース側は依然として、USB PD 仕様に基づく過電圧、低電圧、過電流保護を管理する責任を負っています。

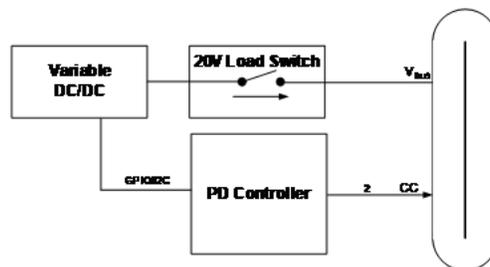


図 48. 20V USB PD ソース専用ポートのブロック図

USB PD コントローラは、接続されたデバイスとの間で取り決められた (ネゴシエーションされた) 電圧に基づいて、可変 DC/DC 電源を制御する必要があります。USB PD コントローラは、GPIO と I<sup>2</sup>C のどちらかを使って、この制御を行うことができます。テキサス・インスツルメンツの一部の USB PD 評価基板を使うと、USB PD コントローラと DC/DC 電源を互いに接続してこの制御を実現する方法の例を試すことができます。

もう 1 つの設計上の検討事項は、20V USB-C ソース専用ポートが供給する電力に応じて、必要な PDO 電圧を確実にカバーする方法です。必要とされる離散的電圧レベルは 5V、9V、15V、20V です。電流は、必要とされる電力レベルに応じて連続的に変化する可能性があります (最大 3A)。いかなる電力レベルでも、以前のすべての電圧および電力レベルをサポートするソースが必要です。たとえば、60W のソースは、20V で 3A、15V で 3A、9V で 3A、5V で 3A を供給する必要があります。これは、より高い電圧の電源がより低い電圧の受電側デバイスを確実にサポートするための、USB PD 仕様バージョン 3.0 での更新です。

システムのアーキテクチャによっては、別の電源を使うこともできます。たとえば、AC/DC アダプタの場合、USB PD コントローラは通常、AC/DC コンバータの DC 出力電圧を直接制御できます。これにより、USB PD ネゴシエーションに基づいて、電圧が適切なレベルになるようにします。DC 電圧レールを持つシステムの場合、降圧 DC/DC コンバータと昇降圧 DC/DC コンバータのどちらかを使うことができます。

USB-C ケーブルで 3A を上回る電流をサポートするには、その他にいくつかのシステム レベルの検討事項があります。着脱可能な USB-C ケーブルが接続された USB-C ポートがシステム内に存在する場合、CC ピンに  $V_{\text{CONN}}$  を供給できる必要があります。3A を上回る電流に対応するため、接続するケーブルは 3A を上回る電流に対応できる必要があります。3A を上回る電流に対応するケーブルには、ケーブルの機能を保存する E マーカー チップが内蔵されています。この E マーカーに電力を供給し、内容を読み取るには、 $V_{\text{CONN}}$  が必要です。多くの USB PD コントローラには専用の  $V_{\text{CONN}}$  パワー パスが統合されており、USB PD ネゴシエーション プロセス中に  $V_{\text{CONN}}$  を自動的にオンに切り替えます。

USB PD 対応 20V USB-C ソース専用ポートにハードワイヤ ケーブル (キャプティブ ケーブルと呼ばれます) が存在する場合、 $V_{\text{CONN}}$  を使わずに、3A を上回る電流をサポートできます。キャプティブ ケーブルは、脱着できないケーブルです。この場合、各種ケーブルをサポートすることを心配する必要はありません。恒久的に接続されたケーブルの能力が常に分かっているためです。

USB 3.0 データのサポートを追加する場合、「USB 3.0 データ対応 5V USB-C ソース専用ポート (USB PD なし)」セクションに記載されている内容と同じ方法に従います。つまり、システム内での USB 3.0 SuperSpeed データ ピンの反転を制御するため、USB 3.0 マルチプレクサを追加します。

### USB PD 対応 20V USB-C シンク専用ポート

USB PD に対応した 20V USB-C シンク専用ポートは、ソース ポートと比較して比較的簡単に設計できます。USB PD 仕様によると、ソース ポートはほとんどの電源保護を管理し、ケーブル全体の電圧を制御する必要があります。シンク側は主に、接続されたソースに PDO の形で電圧または電流を要求し、USB PD ネゴシエーションを完了します。

この実装では、おそらくシステムは USB-C ポートからその電力を受け取ります。USB-C の拡大と、一部の国における USB-C コネクタ採用の義務化によって、これまで歴史的にパレル ジャック、同軸ケーブル、その他の独自 DC 入力から電力を受け取ってきたデバイスも、今では USB-C ポート経由の充電機能を備える必要があります。最終製品の例として、Wi-Fi® アダプタ、Bluetooth® スピーカ、電動自転車 / 電動スクーターを挙げることができます。

パワー パスを実装するには、5V USB-C シンク専用ポートと同様に、USB PD シンク専用ポートも必要となる可能性があります。パワー パスを追加するかどうかは、外から観測される  $V_{\text{BUS}}$  の容量の大きさによって異なります。USB-IF 仕様では、 $V_{\text{BUS}}$  上で 10 $\mu\text{F}$  の静電容量が許容されているのみであるため、システムがこれより多くの容量を必要とする場合、システムの容量を  $V_{\text{BUS}}$  から分離するため、パワー パスを追加する必要があります。

図 49 に、USB PD 設計を採用した 20V USB-C シンク専用ポートを実装するための基本的なシステム レベル ブロック図を示します。USB-C 5V シンク専用ポート設計と、USB PD 対応 20V USB-C シンク専用ポート設計の主な違いは、後者では、ロード スイッチの許容電圧が 20V に高められており、CC コントローラの代わりに USB PD コントローラが必要とされることです。

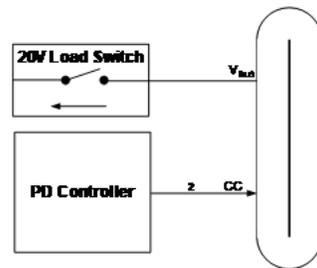


図 49. 20V USB PD シンク専用ポートのブロック図

この場合も、USB 3.0 データをサポートするには、マルチプレクサを追加する必要があります。

### USB PD と DisplayPort™ 代替モードに対応した、5V ソース、20V シンク USB-C ポート

ノート PC または PC の実装では、バッテリーを充電するために USB PD 電圧をシンクする機能、マウス、キーボード、フラッシュドライブなどの小型の接続デバイスに少なくとも 5V 出力を提供する機能、モニタを接続する機能を 1 つの USB-C ポートが持っています。USB-C ポートに必要な機能が、特定の最終製品に対するエンド ユーザーの期待を満たすのに十分なほど堅牢かつ柔軟であることがすぐに理解できます。

図 50 に、このタイプのシステムの電源アーキテクチャを示します。通常、システム内には独立したパワーパスがあります。1 つは 5V をソースするパワーパス、もう 1 つは最大 20V をシンクするパワーパスです。システム内に USB-C ポートが 1 つしかない場合、2 つの独立したパワーパスではなく、1 つのパワーパスを実装することもできます。そのような場合、双方向に対応し、OTG (On-The-Go) 機能を備えたバッテリーチャージャが必要です。5V ソースと 20V シンク、さらには DisplayPort 代替モードのサポートを必要とするほとんどのシステムは、複数の USB ポートを持つことになります。

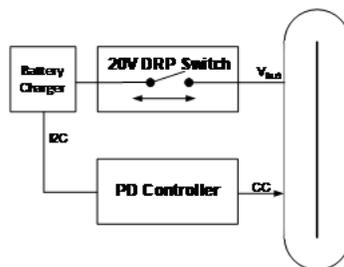


図 50. 5V ソース 20V シンク USB PD のブロック図

最終機器が複数の USB ポートを持つ場合、USB Type-A と USB-C の両方のポートに共有 5V レールがソース電力を供給できます。接続されたデバイスに 5V を供給する場合、各 USB ポートでサポートされる最大電流に基づいて、この 5V DC/DC 電源の電力バジェットを計算する必要があります。

シンクパワーパスをバッテリーチャージャに接続すると、バッテリーチャージャの静電容量が  $V_{BUS}$  から分離され、同時に、ユーザーが AC/DC アダプタを接続した際、バッテリーチャージャが確実に電力を受け取ることができます。

前の例で示したように、USB PD コントローラはパワーパスを内蔵しており、または GPIO を介してそれらを制御する機能を備えています。一部の USB PD コントローラは、外付け NFET を直接駆動するため、NFET (N チャネル電界効果トランジスタ) ゲートドライバを内蔵しています。

図 50 は、USB PD コントローラが  $V_{CONN}$  を供給できることも示しています。USB PD ソース専用ポートの設計では、電流が 3A を上回る場合、 $V_{CONN}$  が必要とされます。しかし、DisplayPort 代替モードを新たにサポートするには、ケーブルの電力能力ではな

く、データ能力を判定するために、 $V_{CONN}$  が必要とされます。USB 3.0 データ対応 5V USB-C ソース専用ポートの例と同様に、接続されたケーブルが、DisplayPort 代替モードもサポートできる機能を備えていることを確認することが重要です。ケーブルの能力を読み出すため、 $V_{CONN}$  はケーブル内の E マーカーに電力を供給する必要があります。

図 51 に、USB PD と DisplayPort™ 代替モードに対応した 5V ソース 20V シンク USB-C ポートを実装するための電源ブロックとデータブロックの両方を含むより包括的なブロック図を示します。

図 51 の最後のブロックは DisplayPort 代替モード マルチプレクサです。前の例と同様に、DisplayPort 代替モードは、ビデオ データを送信するために、USB-C コネクタの SuperSpeed ピンも使います。

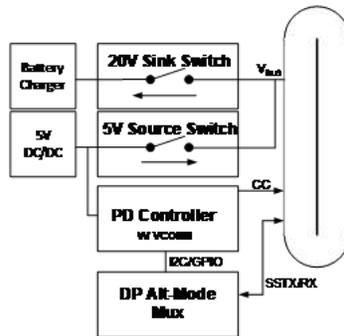


図 51. DisplayPort™ USB PD 対応、5V ソース 20V シンクのブロック図

DisplayPort 代替モードには、USB 3.0 または DisplayPort ビデオ データのサポートの合間に SuperSpeed ピンの分配を決定するのに役立つ複数の異なるピン構成が含まれています。すべての SuperSpeed ペアを DisplayPort 専用にする一方で DisplayPort の帯域幅を最大化するピン構成と、USB 3.0 と DisplayPort の両方のデータを同時に有効化するために SuperSpeed ペアを分割するピン構成があります。DisplayPort 仕様では、USB-C でサポートされているピン構成について詳しく説明しています。

DisplayPort 代替モード マルチプレクサは、DisplayPort 代替モード内でネゴシエーションされたピン割り当てに応じて、DisplayPort ホストと USB ホストのどちらかと SuperSpeed ピンを多重化します。その他のペリフェラル デバイスと同様、USB PD コントローラの機能には、 $I^2C$  を介して、または GPIO を使って、DisplayPort 代替モード マルチプレクサと通信し、それに応じてそのマルチプレクサを構成することが含まれます。ポート パートナーが DisplayPort 代替モードもサポートしている場合、USB PD コントローラは、接続されたデバイスと自動的にネゴシエーションを行い、DisplayPort 代替モードに移行します。このネゴシエーションに基づいて、USB PD コントローラは、 $I^2C$  と GPIO のどちらかを使って、DisplayPort 代替モード マルチプレクサを構成します。USB PD ネゴシエーション中、電力は常に最初にネゴシエーションされ、その後、DisplayPort などの代替モードがネゴシエーションされます。

## USB PD とバッテリー チャージャに対応した 20V USB-C DRP

歴史的に、バッテリー駆動の最終製品は、製品を充電するためにパレル ジャック、同軸ケーブル、独自ケーブルのいずれかを使っていました。USB PD 対応 USB-C への移行により、電力をソースすることもシンクすることも可能になり、ひいてはバッテリー駆動デバイスをパワー バンクに転換することが可能になりました。つまり、エンド ユーザーは USB-C 経由で、接続先のデバイスを充電することができ、同じ USB-C コネクタを使って、接続元のデバイスを充電することもできます。これらの要件を満たすには、双方向バッテリー チャージャを備えた DRP アーキテクチャを実装することになるでしょう。この実装は複雑に聞こえるかもしれませんが、通常は 2 チップの自己完結型ソリューションです。

図 52 に、双方向バッテリー チャージャ IC を利用した USB PD 対応 20V USB DRP のブロック図を示します。この場合、エンドユーザーがチャージャ デバイスを接続すると、バッテリー チャージャがバッテリーを充電します。また、充電を必要とするデバイスをエンドユーザーが接続すると、バッテリー チャージャは  $V_{BUS}$  に適切な電圧を供給します。この場合、USB PD コントローラは I<sup>2</sup>C 経由でチャージャ IC とも通信します。電源として動作している場合、接続の有無、供給すべき電圧、電流制限の設定値に関して、USB PD コントローラはバッテリー チャージャと通信します。バッテリー チャージャは、USB PD 仕様の許容値を満たすために適切な電圧を維持する必要があります。また USB PD 仕様のタイミング要件を満たすために電圧を確実に (たとえば 5V から 20V に) 遷移させる必要があります。通常、バッテリー チャージャが USB PD アプリケーション向けに設計されている場合、そのバッテリー チャージャはこれらの仕様を満たすように設計されており、または、USB PD に準拠するように出力を調整するため、電圧遷移を調整するための構成可能な設定機能を備えています。

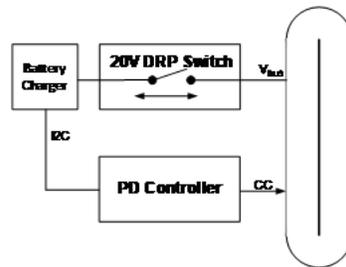


図 52. 5V ソース 20V シンク USB PD のブロック図

USB PD コントローラが電力シンクとして動作する場合、その USB PD コントローラはバッテリー チャージャが利用できる電力に関して通信し、バッテリー チャージャがバッテリーの充電を開始できるようにします。ほとんどのバッテリー チャージャ IC は、安定性を確保するため、入力ピンに 10 $\mu$ F を上回る容量を接続する必要があるため、図 52 には追加の 20V DRP パワー パスが含まれています。10 $\mu$ F 未満の静電容量で動作できるチャージャ IC を使用する場合、20V DRP パワー パスをシステムから取り除くことができます。

## 最終製品のブロック図

- 概要
- ノート PC と産業用 PC
- ドッキング ステーション
- Bluetooth® スピーカ
- Wi-Fi® ルータとスマート スピーカ
- 電動工具



## 概要

執筆者: Adam McGaffin

USB Type-C® (USB-C®) は万能コネクタとして急速に普及しつつあり、多種多様な製品がその技術から恩恵を受けることを可能にしています。この章では、現在 USB-C を実装している最もよく知られた種類の最終製品について説明し、USB-C コネクタの周辺のサブシステムを構成する概略ブロックについて説明します。

### ノート PC と産業用 PC

ノート PC は USB-C を実装した最初の製品であり、今日出荷されているノート PC の大部分は少なくとも 1 つの USB-C ポートを備えています。システムの充電、外部ペリフェラルへの電力供給、ビデオ転送機能によって、ノート PC は USB-C と USB PD から多大な恩恵を受けています。図 53 に、ノート PC または産業用 PC プラットフォームの代表的なブロック図を示します。

一般的なノート PC と産業用 PC の唯一の違いは、動作温度範囲要件です。しかし、これら 2 つの間のコア コンポーネントは同じであるため、共通のブロック図を共有できます。

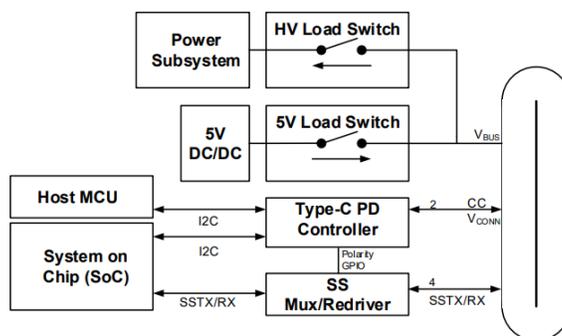


図 53. ノート PC と産業用 PC のブロック図

コネクタを介したシステムへの電力供給とビデオの転送に必要な大電力コントラクトのネゴシエーションには、USB PD コントローラが必要です。電源の観点からは、大多数のプラットフォームでは、2 つの異なるパワー パスが実装されています。1 つは、ノート PC を充電するための高電圧シンクコントラクト専用パワー パスです。もう 1 つは、マウス、キーボード、電話など、接続された周辺機器を充電するための 5V 専用パワー パスです。この USB PD コントローラはこれらのパワー パスを直接統合します。または、専用 eFuse やロード スイッチなど、外部パワー パスを制御する機能を備えています。

USB-C コネクタを介してビデオまたはデータを転送するには、SuperSpeed レーンを適切に転送するため、マルチプレクサまたはリドライバを実装する必要があります。また、マルチプレクサの制御は通常、USB PD コントローラによって処理され、接続されているケーブルの向きに応じて、汎用入出力と I<sup>2</sup>C のどちらかを使ってマルチプレクサの極性を切り替えます。

最後に、これらのアプリケーションでは、USB-C ポートで発生するシステム レベル イベントを処理するため、何らかの種類の中央マイクロプロセッサを実装することが一般的です。大部分の USB PD コントローラは I<sup>2</sup>C インターフェイスを実装しており、中央マイクロプロセッサと通信できます。USB PD コントローラから取得できる情報の例として、ポート パートナー情報、電力コントラクト、現在のビデオ出力速度が挙げられます。

### ドッキング ステーション

ノート PC と組み合わせて使う最も一般的なアクセサリは、ドッキング ステーションです。ドッキング ステーションを使うことで、ノート PC は 1 つのポートを使って充電とデータ転送を行うことができます。図 54 に、ドッキング ステーションのブロック図を示します。

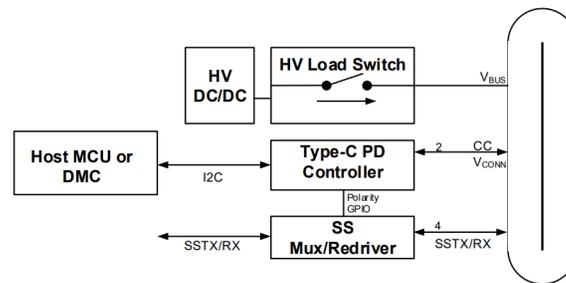


図 54. ドッキングステーションのブロック図

ノート PC と同様に、大電力コントラクトを実装し、ビデオ代替モードをネゴシエーションするため、ドッキングステーションには USB PD コントローラが必要です。しかし、ノート PC とは異なり、必要なパワーパスは 1 つのみです。接続されたノート PC とその他の周辺機器をドッキングステーションが充電できるように、パワーパスは高電圧可変 DC/DC に接続されています。ドッキングステーションは、このポートから電力をシンクすることはありません。それが、パワーパスが 1 つで十分な理由です。

### Bluetooth® スピーカ

Bluetooth スピーカなどのポータブル デバイスは、USB Type-C を利用して、1 つのポートを使って、接続されたペリフェラルを充電し、またはそれらに電力を供給する機能を備えているため、ユーザーは自身のポータブル製品を外付けバッテリーとして使うことができます。図 55 と図 56 に、Bluetooth スピーカの代表的なブロック図を示します。これらはしばしばその他のポータブル バッテリ駆動デバイスにも当てはまります。

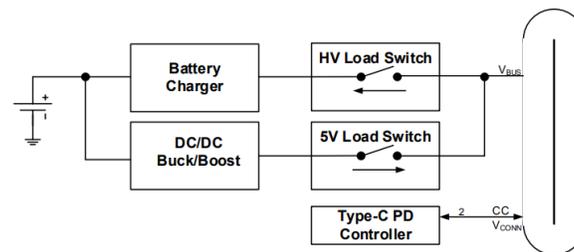


図 55. Bluetooth スピーカのブロック図 1

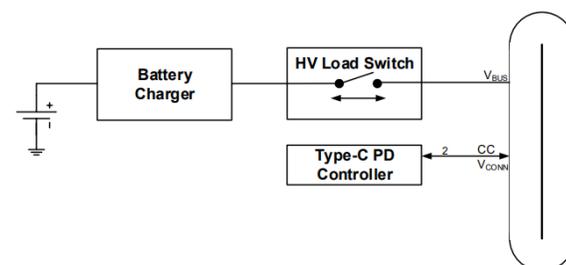


図 56. Bluetooth スピーカのブロック図 2

Bluetooth スピーカまたは任意のポータブル バッテリ駆動デバイスを設計する場合、以下の 2 つの電源アーキテクチャが考えられます。

- システムの電力をシンクおよびソースするための 2 つの独立したパワーパス。
- バッテリチャージャが On-The-Go モードの電力供給源としても機能する 1 つのパワーパス。

最初の方法が理にかなっている例としては、Bluetooth スピーカー内の複数のデバイスで共通の 5V レールが使用されており、シンク パワー パスを電源アーキテクチャの残りの部分から分離することが望まれる場合が含まれます。2 番目の方法は、5V を上回る電圧をシンクおよびソースする必要があるシステムに適しています。システムが USB-C ポートから 9V を供給するには、5V で起動した後、9V に移行する機能を備えた可変 DC/DC を実装する必要があります。この機能のために個別の可変 DC/DC を実装する代わりに、多くのバッテリー チャージャに内蔵されている On-The-Go 機能を使うことができます。

## Wi-Fi® ルータとスマート スピーカ

Wi-Fi ルータ、スマート スピーカなど、従来のバレル ジャック電源デバイスは USB-C に移行しつつあります。図 57 に、独自のバレル ジャック接続から USB-C ポートに移行する様子を示します。

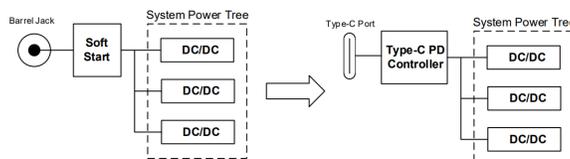


図 57. バレル ジャックから USB-C への移行

図 57 に示すように、USB-C ポート上でネゴシエーションされる電圧には、通常バレル ジャックで電力を供給される際の電圧と同じ電圧が維持されるため、コア システムの電源アーキテクチャは同じ構成を維持できます。もう 1 つの利点は、ほとんどのバレル ジャック アプリケーションには、初期接続時の突入電流を制限するためのソフトスタート回路が実装されていることです。USB-C ポートは、USB-C システムで使用されているロード スイッチの内蔵ソフトスタート機能を使用して、これと同じ機能を実装できます。

図 58 に、USB-C ブロックのより詳細な図と、Wi-Fi ルータまたはスマート スピーカ アプリケーションにおいて USB-C を実装するために必要とされるものを示します。

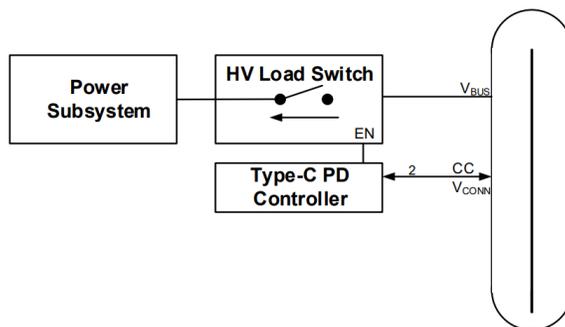


図 58. Wi-Fi ルータとスマート スピーカのブロック図

Wi-Fi ルータ、スマート スピーカなど、シンク専用 USB-C システムは、1 つまたは 2 つのブロックで実装できます。USB PD コントローラは、接続されたチャージャとの間で必要な電圧を取り決めます。また、ロード スイッチまたはパワー パスも必要とされます。このパワー パスは、デバイス内のすべての電圧レールに電力を供給するシステム電源アーキテクチャとサブシステムに接続します。

## 電動工具

外出先で使用するノート PC、電話、スピーカに給電および充電するためのパワー バンクおよび類似のポータブル パワー パックは、USB-C を採用しているもう 1 つのタイプの最終製品です。図 59 と図 60 に、この種のシステムの代表的なブロック図を示します。

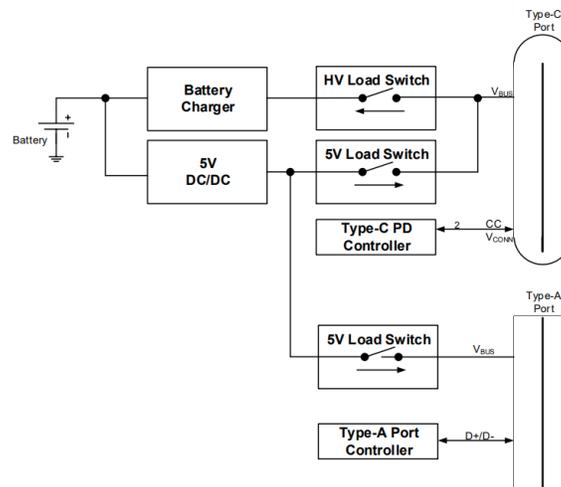


図 59. パワー バンクのブロック図 1

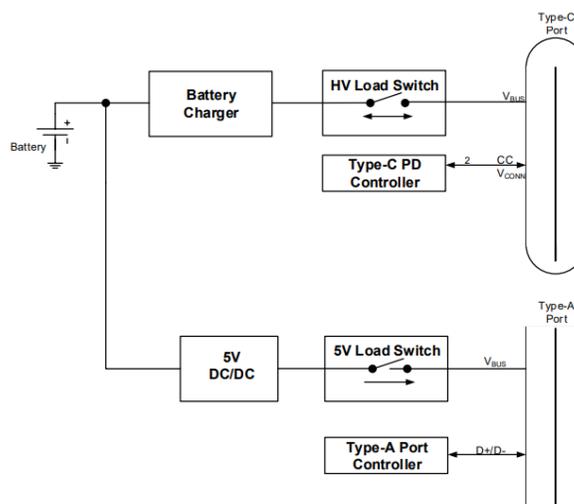


図 60. パワー バンクのブロック図 2

多くの設計者がすべての USB Type-A ポートを USB-C ポートに転換しつつありますが、一部の最終製品には、エンド ユーザーが所有する古い製品に電力を供給するため、古い技術が内蔵され続けています。その一例として、パワー バンクがあります。Bluetooth スピーカと同様、パワー バンクのバッテリー パックは、1 つの USB-C ポートから電力をソースおよびシンクする機能を備えています。USB Type-A ポートは、接続されたデバイスを充電するための電力をソースするのみです。

電力の観点からは、次の 2 種類の実装があります。

- USB-C ポートと USB Type-A ポートは同じ 5V DC/DC 電源を共有しており、USB-C ポートの出力は 5V に制限されています。

- USB-C ポートは 1 つのパワー パスを実装しており、バッテリー チャージャは OTG (On-The-Go) モードで動作します。USB Type-A ポートは、専用の 5V DC/DC 電源を持っています。

パワー バンクと Bluetooth スピーカのもう 1 つの類似性は、その他のトポロジに対してあるトポロジを選択する主な理由が、USB-C ポートの出力電圧に基づいていることです。USB-C ポートが最大 5V の電圧のみを必要としている場合、USB-C ポートに接続されたバッテリー チャージャが電力シンクとしてのみ動作する DC/DC トポロジが最も有益である可能性があります。USB-C ポートが 5V を上回る電圧を供給する必要がある場合、バッテリー チャージャに内蔵された OTG 機能を利用して、バッテリー チャージャがソースとシンクの両方として機能することが最善の道である可能性があります。

## テキサス・インスツルメンツの PD コントローラの利点

- 概要
- 一般的な設計課題に対するテキサス・インスツルメンツのソリューション
- テキサス・インスツルメンツの PD コントローラを使うことのその他の利点



## 概要

執筆者: Joe Li, Adam McGaffin

2013 年に発表されて以来、USB-C PD は 1 本のケーブルで高データレートと大電力伝送に対応するアプリケーションを可能にする重要な技術であり続けています。しかし、PD を採用する場合、USB-C PD 技術の成長を遅らせた複数の設計課題が存在します。テキサス・インスツルメンツの PD コントローラは、これらの問題を直接解決し、エンド ユーザーに包括的なソリューションを提供します。

### 一般的な設計課題に対するテキサス・インスツルメンツのソリューション

#### テキサス・インスツルメンツが提供する高集積ソリューション

**課題:** 多くの PD コントローラは、必要なパワーパスのすべてをソリューションに統合しているとは限らないため、過電流保護 (OCP)、過電圧保護 (OVP)、逆電流保護 (RCP) の性能が劣ります。ユーザーはディスクリートパワーパスを設計する、または 5V または高電圧 (HV) ロードスイッチを購入する必要があります。そのためユーザーは、ソリューション全体のサイズの増大と部品点数の増加という課題に直面しています。

**ソリューション:** テキサス・インスツルメンツは、USB-C PD システムの設計に必要なすべてのパワーパスとその他の機能を統合した包括的なスタンドアロン USB-C PD ソリューションを提供しています。図 61 に、テキサス・インスツルメンツの PD コントローラの概略ブロック図を示します。内部パワーパスとして機能する電界効果トランジスタ (FET) を内蔵しているため、追加の 5V または HV パワーパスをユーザーが設計する手間が省けることに注意します。同時に、デッド バッテリー発生時にシステムの一部に電力を供給するため、内蔵デッド バッテリー LDO (Low DropOut) が 3.3V レールを生成します。内蔵パワーパス保護機能は RCP、OVP、OCP を確実に保護します。また、テキサス・インスツルメンツの PD コントローラは、非適合デバイスに接続した場合でも強靭に保護するため、26V 許容の CC ピンを内蔵しています。高集積設計のテキサス・インスツルメンツの PD コントローラを使うと、ファームウェアを開発する必要も、マイクロコントローラを外付けする必要もありません。

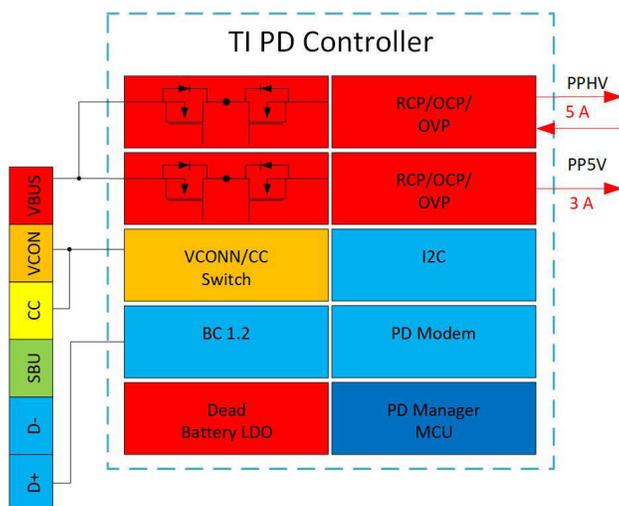


図 61. テキサス・インスツルメンツの PD コントローラ的设计

一方、代表的な PD コントローラ製品はしばしば集積度が低く、システムを完成させるためには、システム設計工数と部品を追加する必要があります。図 62 に、代表的な PD コントローラを示します。これらのタイプのソリューションでは、統合している機能が非常に少なく、完全な USB-C PD ソリューションを実装するのに必要な作業の多くがシステム設計者に残されています。内部パワーパスも、パワーパス保護機能も、デッド バッテリー LDO も、多くの場合 BC 1.2 プロトコル モジュールも備えていないため、この

設計が完成するかどうかはユーザー次第です。代表的な PD コントローラを採用し、複数のチップと FET を追加した場合、結局は非効率的、複雑、高価な方法になることもあります。

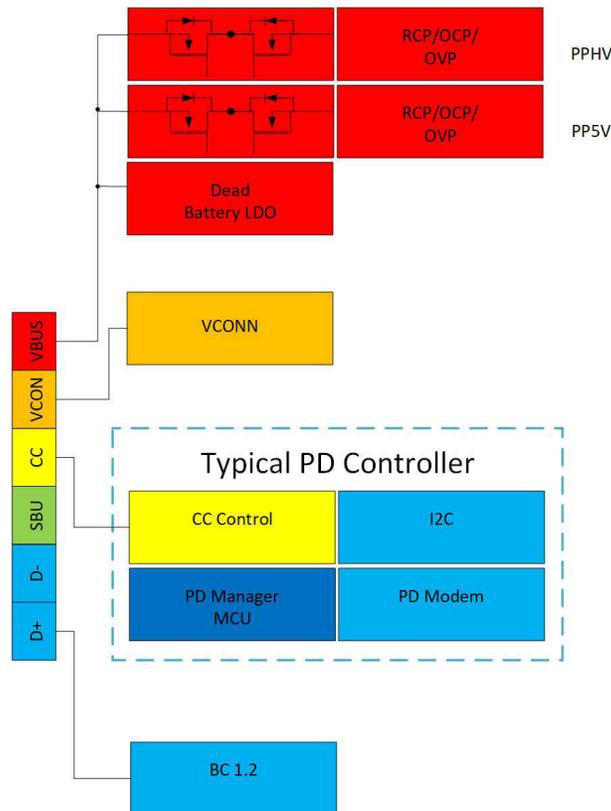


図 62. 代表的な PD コントローラの設計

まとめると、高集積設計により、テキサス・インスツルメンツは、総部品点数を最小限に抑えながら、業界最小のトータルソリューションサイズを提供できます。パワーパス管理機能とその他の機能を統合することで、テキサス・インスツルメンツは、USB-C PD システムを完成させるために追加部品を探す際の手間とコストを低減できる包括的なワンチップソリューションを提供しています。

### テキサス・インスツルメンツが提供するシンプルな構成ツール

**課題:** 初めて使用する前に PD コントローラを設定できる機能は非常に重要です。たとえば、エンドユーザーは PD コントローラのパワーロールをソース専用からデュアルロールパワーまたはシンク専用に変更できる必要があります。しかし、一般的な PD コントローラを使用して設計する場合、構成プロセスが複雑であり、かつ時間がかかるため、そのようなパワーロールの変更ができる事例は多くありません。ほとんどの構成ソフトウェアでは、チャージャをサポートできるようにするために、手作業のコーディング、複雑なファームウェアスクリプト作成、I2C レジスタに関する詳細な知識が必要とされるため、構成プロセスに習熟することは困難であり、構成プロセスが一層使いづらいものになっています。

**ソリューション:** テキサス・インスツルメンツの PD コントローラの構成プロセスは簡潔であり、最小限のコーディングしか必要としません。TPS6598X シリーズの場合、テキサス・インスツルメンツのアプリケーションカスタマイズ GUI (Graphical User Interface) ツールをダウンロードすることで、エンドユーザーは構成設定を簡単に変更し、または I2C 経由で PD コントローラとやり取りできます。図 63 に、TPS6598X シリーズの GUI ツールを使って GPIO (汎用入出力) 設定を構成する際のスクリーンショットを示します。

GUI Build Version : 6.1.3  
 Configuration File Version : 6.1.3  
 Configuration File Supported Device : TPS65987DDH (Standard)  
 Configuration File Name: TPS65987DDH\_Standard\_v6\_1\_3.tpl  
 USB to I2C/SPI Adapter : TIVA

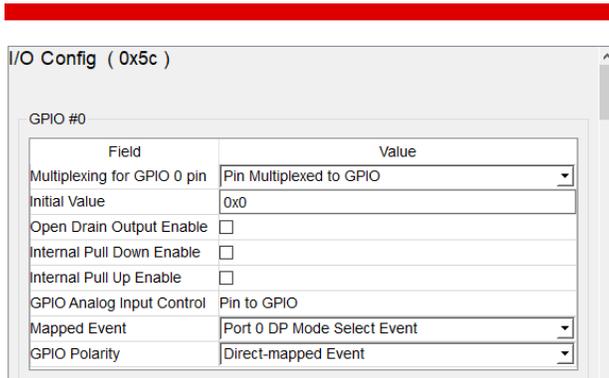


図 63. TPS6598X シリーズの GUI ツール

テキサス・インスツルメンツは、現在と将来の PD コントローラ向けに、エンド ユーザーが自身の PD コントローラを構成するための使いやすい Q&A スタイルの Web ベース GUI ツールを提供しています。エンド ユーザーは、いくつかの質問に答えるだけで、ファームウェア / 構成イメージを生成できます。図 64 に、簡単な構成プロセスを示します。

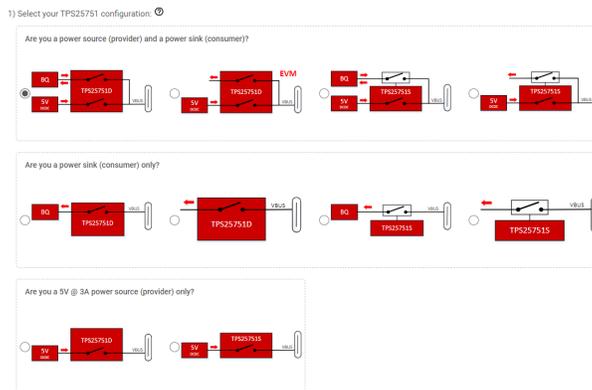


図 64. Web ベース GUI のスクリーンショット

- 2) What is the maximum power that can be sourced? ⓘ
- 15W (5V)
  - 27W (9V)
  - 45W (15V)
  - 60W (20V)
  - 100W (20V)
- 3) What is the required sink power or power consumed? ⓘ
- 15W (5V)
  - 27W (9V)
  - 45W (15V)
  - 60W (20V)
  - 100W (20V)
- 4) What is the preferred power role? ⓘ
- Power source (provider)
  - Power sink (consumer)
- 5) What is the supported USB Highest Speed? ⓘ
- No USB data is being used
  - USB 2
  - USB 3.2 Gen 1
  - USB 3.2 Gen 2
- 6) Do you have a preferred data role? ⓘ
- No
  - Host (PC, hub, etc.) to which devices are connected - Downstream Facing Port (DFP)
  - Device (USB flash drive, USB monitor, USB mouse, etc.) that connects to another USB Host - Upstream Facing Port (UFP)
  - Host & Device - Dual Role Port (DRP)

図 65. Web ベース GUI のスクリーンショット

### 厳格に検証され、USB-IF 認証を取得したテキサス・インスツルメンツ製品

**課題:**一部の PD コントローラが USB-IF (USB Implementers Forum) 仕様に完全には準拠していないことはよく知られています。USB-IF の認証がないと、その他の USB-C 最終製品と相互運用させようとした場合に問題が発生する可能性があります。従来の USB-C 機能の障害 (これには DisplayPort 代替モードの障害が含まれます) さえ発生する可能性があります。

**ソリューション:**テキサス・インスツルメンツ製品の信頼性を確保するため、テキサス・インスツルメンツのすべての PD コントローラでは、それぞれ発売前に、ファームウェア検証とシステム検証の両方を含む広範な検証を実施しています。新しいファームウェアリリースまたはファームウェア更新時に、テキサス・インスツルメンツはすべての新機能を検証するための新しいテストを追加し、すべての既存機能に影響を及ぼさないことを証明するための包括的な回帰テストを実施しています。製品とそのコンパニオン デバイスが共に、コンプライアンスと機能に関する規格を満たしていることを確認するため、ファームウェア テストの後、製品はコンプライアンス、相互運用性、故障、電力測定、機能テストを含むシステム検証を受けます。さらに、各リリース後もユーザーの要求に応じて、テキサス・インスツルメンツは PD コントローラのアップグレードと検証を続けています。

テキサス・インスツルメンツは、USB 仕様の策定を担当する委員会である USB-IF とも長期間にわたって協力しています。テキサス・インスツルメンツと USB-IF との協力は、テキサス・インスツルメンツが継続的にコンプライアンスの実現のために取り組む原動力となっています。テキサス・インスツルメンツは、現在の USB-IF の理事会の委員を務める代表者を派遣することで、USB コミュニティの重要な一員となっています。テキサス・インスツルメンツのすべての PD 製品は、USB-IF 仕様に従ったテストと認証を受けています。このようにして、テキサス・インスツルメンツの PD コントローラが USB PD (Power Delivery) 仕様を適切に実装できるようにすることで、テキサス・インスツルメンツのソリューションを実装するシステムだけでなく、その他のすべての USB-IF 認証済みシステムとのシームレスな互換性を確保しています。

## テキサス・インスツルメンツの PD コントローラを使うことのその他の利点

### テキサス・インスツルメンツが提供する包括的なリファレンス デザイン

テキサス・インスツルメンツは、エンド ユーザーが USB-C PD 技術を可能な限りシームレスに採用できるように取り組んでいます。これが、各種の使用事例を網羅した、ほとんどのテキサス・インスツルメンツ製 PD コントローラの包括的なリファレンス デザインをテキサス・インスツルメンツが提供している理由です。全リファレンス デザインの一覧を掲載した Web サイト (<https://www.ti.com/reference-designs/index.html#search?famid=361,658,3391>) にアクセスし、パラメトリック検索ツールを使うことで、目的の製品を素早く見つけることができます。

### テキサス・インスツルメンツが提供する優れた顧客サポート

ユーザー体験をさらに向上させるため、テキサス・インスツルメンツは業界最高の顧客サポートを提供しています。[www.tij.co.jp/usb-c](http://www.tij.co.jp/usb-c) にアクセスするだけで、関連するすべてのトレーニング ビデオ、リファレンス デザイン、評価基板 (EVM) を検索し、USB-C PD システムを開発およびデバッグできます。既存の資料に加えて、テキサス・インスツルメンツのオンライン E2E フォーラムは、さらなる技術サポートを提供するため、個々のユーザーをテキサス・インスツルメンツのエキスパートに直接つなぎます。

### まとめ

USB-C 電源システムへの切り替えは複雑で高価なように思われるかもしれませんが、テキサス・インスツルメンツの PD コントローラを選ぶことで、エンド ユーザーは設計工数、開発期間、システム コストを最小化できます。テキサス・インスツルメンツは、自社の USB-PD 製品を究極の業界標準にするべく努力を続けています。テキサス・インスツルメンツは、最もよく統合された PD ソリューションの 1 つの提供、使いやすい GUI 構成ツールの開発、ファーストクラスのカスタマー サポートの提供を通じて、USB-C PD 製品に関する最大の懸念を特定し、それらに対処しています。

**重要なお知らせ:**ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated