

ホワイトペーパー

USB PD で USB 給電がさらに便利に

2019年1月

概要

スマートフォンやデジタルカメラの充電に USB を使うのは当たり前の光景になっています。しかし、最大 100W の双方向給電が可能な USB PD (USB Power Delivery) の登場で、USB 給電に大変革が起きようとしています。このホワイトペーパーでは、USB 規格やその進化の歴史をたどりながら、USB Type-C™がもたらす超高速通信機能、周辺機器との双方向給電、バッテリーチャージなどを可能とするケーブルやコネクタの特徴について説明します。USB の利用形態に大変革をもたらす USB PD の実用性について、取扱いの簡素化、コネクタ数の削減、環境配慮といった視点から、具体的に説明したいと思います。また、USB PD による給電制御のインタフェース設計で使用する IC ソリューションについても紹介したいと思います。

USB 給電の歴史

ユニバーサルシリアルバス (USB) のコンセプトは、1994 年 PC・通信業界の強者連合「Intel、Microsoft、DEC/Compaq (現 HP)、Apple、NEC、Northern Telecom (現ノキア)」によって策定されました。当時のパソコンはシリアルやパラレルインターフェースがいくつも増設されパソコン背面はコネクタやケーブルでごった返し、拡張カードやカスタムドライバーのインストールといった面倒な作業が必要でした。USB のコンセプトは、このようなレガシーインターフェースを置き換え、プラグアンドプレイが可能な汎用性のある高速シリアルインターフェースを提供することでした。当初は速度向上と相互運用性 (インターオペラビリティ) の向上に重点が置かれていましたが、その後 5V 給電とホストリターン用の信号線が追加されました。最初の USB である Ver1.0 では 100mA しか供給できませんでしたが、USB マウスなどの低電力な周辺機器に大きく貢献しました。

USB 1.0 では、「フルスピード」モードを 12Mbps に設定していましたが、データ転送速度向上のニーズが高まりすぐに速度不足となりました。2000 年に USB 2.0 が導入され、転送速度は 480Mbps と一気にスピードアップしました。USB 規格の原則は下位互換性にあり、USB 2.0 デバイスは 12Mbps や 1.5Mbps でも動作します。また、USB 2.0 では 5V 給電能力は 500mA/2.5W にアップグレードされ、携帯電話などのポータブルデバイスのバッテリー充電に利用され一気に普及しました。データ転送機能を使わない充電のみの USB 利用法が浸透し、設立組織である「USB Implementers Forum」(USB-IF)^[1]は、USB 3.0 の導入にあたり、給電能力を 900mA/4.5W に強化した「CDP (Charging Downstream Port)」モードを導入しました。そして、バッテリー充電仕様 (USB BC) が 2007 年に規定され、1.5A または 5V/7.5W までの大きな電流が流せるようになりました。2010 年には、USB BC 1.2 により充電動作のより堅牢な仕様が導入さ

れました。USB のデータ転送及び電力性能の国際標準化が正式に行われ、現在 IEC 62680-2-1 : 2015 ^[2]が最新版です。

従来の USB 規格は、データ転送は双方向でしたが給電はホストからの単一方向のみでした。コネクタを接続すると 5V がすぐに供給された「ホット」状態になり、理論上は 2 つのホストの相互通信が可能ですが、両方が電力供給を試みるため、片方あるいは両方のホストが損傷することがあります。さまざまな電力ニーズに対応するホストデバイスは、周辺機器とのエニュメレーションによって使用可能な電力と必要な電力の情報交換を行います。このやり取りはデータ線を使用し割込み動作によって行われます。ただし、専用の充電ポートとして使用する場合は、エニュメレーションは必要ありません。しかし、この方法だと給電は 7.5W に制限され、USB を使った更なる電源開発を行う上で大きな障害でした。

上記と並行する問題として、デスクトップ PC やラップトップ PC と接続される周辺機器の電源供給の複雑さと互換性の問題がありました。昨今、多くのデバイスが色々な AC アダプタを使用するようになりました。AC アダプタが供給する電圧は、ラップトップの場合は 19V、プリンターや外部ハードドライブの場合は 12V とまちまちです。こういった機器を机の上でつなぐと、図 1 のように互換性のない電源アダプタや通信ケーブルであふれかえった光景をよく目にします。

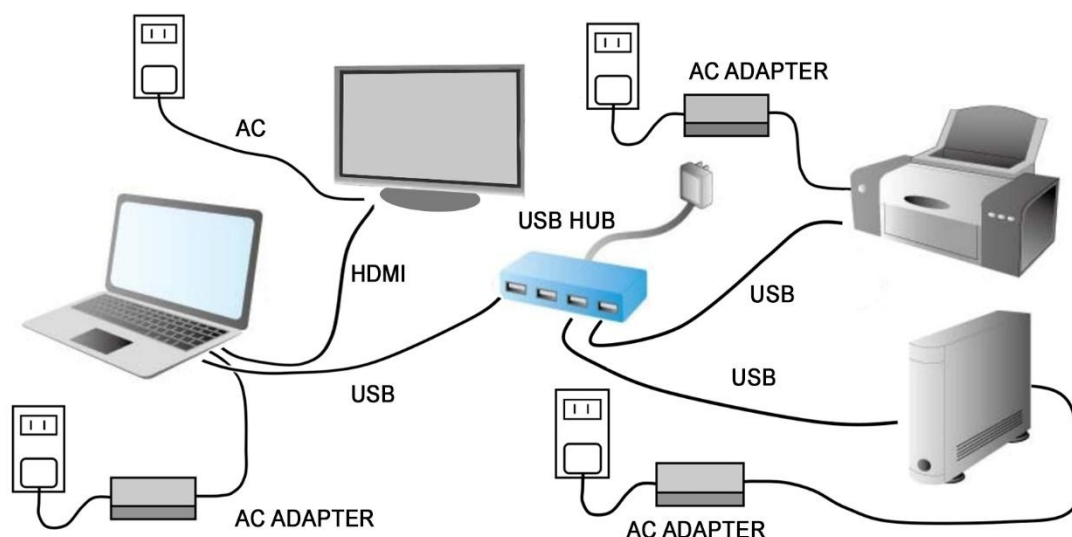


図 1. USB PD 登場以前の PC と周辺機器を接続した様子

海外旅行中は、各国対応の電源ソケットコンバーターやいくつもの重たい AC アダプタや充電器を携帯する必要があります。また一般家庭における電子ゴミ（新型デバイスと互換性のないケーブル・アダプタ等）の問題が浮上しています。これまでさまざまな USB コネクタが登場しました。タイプ A、B、AB の「スタンダード」、「ミニ」、「マイクロ」タイプのケーブルなどがありますが、どれも電子ゴミ問題の解決には至っていません。USB 3.0 のデータ転送レートは、5Gbps でスタートし、リビジョン 3.1 では 10Gbps にアップした「スーパースピード」転送モードも導入されました。この規格に対応するには、USB の「スタンダード」および「マイクロ」形式の 9 本線ケーブルとコネクタとは別のケーブル・コネクタセットが必要となりました。

USB PD の導入

USB 給電の制限に対応するため、初の USB 「Power Delivery」 規格 USB PD Ver1.0 が USB-IF (USB Implementers Forum) によって 2012 年に考案・リリースされ、出力電圧は 5V から 20V まで可変、最大 5A までのネゴシエートされた電流、合計 100W の電力供給が可能となりました。これにより、USB ポートからラップトップ PC を直接充電し、USB ケーブルを介してモニターなどの周辺機器へも電力供給が可能となり、デバイスごとに別の電源を準備するわずらわしさから解放される道が開けました。

USB PD には、デバイス間の詳細なエニューメレーション仕様が含まれており、必要以上の電圧を印加しない、電力を必要とするデバイス以外には給電しないなどの仕組みが盛り込まれています。ケーブル接続時、ソースデバイスは 5V を出力し、レガシーデバイスにとって安全な電力である 10W に制限して給電を開始します。その後、表 1 に示す、5 つの標準「プロファイル」のうちの 1 つを設定するためのネゴシエーションが行われます。

Source Output Power (W)	Current at: (A)			
	+5V	+9V	+15V	+20V
0.5 - 15	0.1 - 3.0	N/A	N/A	N/A
15 - 27	3.0 (15W)	1.67 - 3.0		
27 - 45		3.0 (27W)	1.8 - 3.0	
45 - 60			3.0 (45W)	2.25 - 3.0
60 - 100		3.0 - 5.0		

表 1. USB PD プロファイル

もう 1 つの重要な変更は、エニューメレーション機能をデータ線から分離することです。スタンダードのタイプ A および B の USB コネクタでは、すべてのネゴシエーションが電力線 VBUS の操作によって行われ、データ転送と電力供給が完全に独立しています。さらに USB PD 1.0 では双方向給電が可能で、デバイス間で柔軟な電力共有を実現しています。たとえば AC 電源があるモニターが、USB 接続されたラップトップ PC を充電することもできますし、逆に AC アダプタが接続された充電中ラップトップ PC や、バッテリーで動作中のラップトップ PC が USB PD を介してモニターに給電することも可能です。

実際には、従来型 USB コネクタには、ソースデバイスから常時 5V が印加されているため、USB に準拠しない配線をする以外は、双方向の給電制御を行うことは困難でした。

USB Type-C™ コネクタ導入で更なる機能を実現

USB PD 仕様の可能性を最大限に引き出すソリューションは、「USB Type-C™」コネクタ (図 2) です。USB Type-C™ および USB-C™ は、USB Implementers Forum の商標です。「フリップ可能」な 24 接点コネクタは、タイプ A および B より小さく、プラグ高はわずか 2.4mm、スリムライン製品にも最適な仕様となっています。また、DisplayPort™ over USB-C™ などの「Alternate Mode」にも対応しているため、ラップトップ PC にいろいろな種類のコネクタを設置する必要もありません。



図 2. USB Type-C™ コネクタ

ラップトップ PC が電力供給源となり USB Type-C™ ケーブルでモニターやその他の周辺機器に配電される場合、周辺機器には今後おそらく個別の電源アダプタは必要なくなるでしょう。モニターのビデオ信号は、USB Type-C™ ケーブルの

「Alternate Mode」を使って HDMI™ 信号を通すことができます。AC 電源への接続点は一箇所で済み、机の上は図 3 のようにスッキリとしたレイアウトが実現できるでしょう。

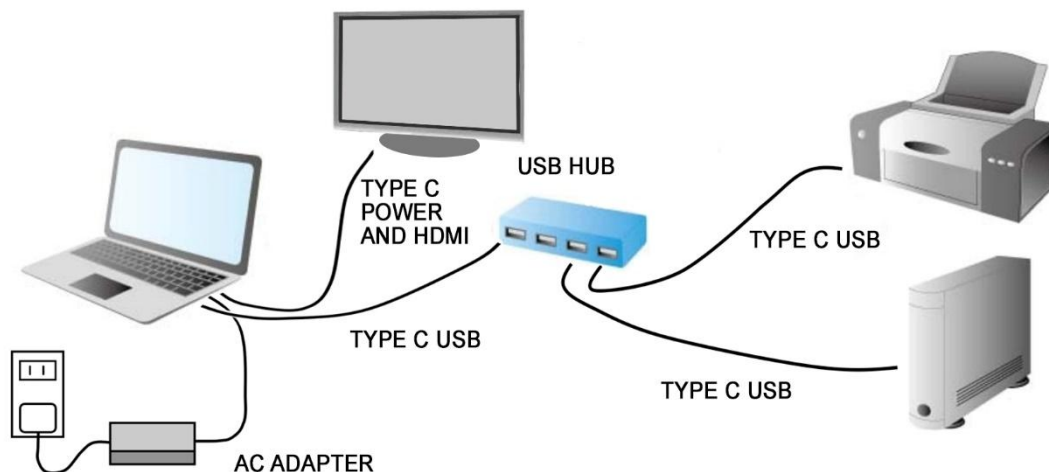


図 3. 1 USB Type-C™ 接続は電源アダプタ 1 個と 1 種類のケーブルに統一可能

USB Type-C™ タイプのコネクタは電源が「コールド」状態でスタートします。相互接続されたデバイスは、ソースとシンクが識別されるまで電圧を印加しません。これにより、双方向の電力フローが容易になり、方向をシームレスに変更する「FastRole Swap (FRS)」が可能です。たとえばモバイルバッテリーはケーブル 1 本でラップトップ PC に接続でき、充電・放電の動作がラップトップと連携して制御されます。プログラマブル電源 (PPS) 機能も利用可能で、固定電圧出力の電源 (5V、9V、12V、20V)、または変換効率が重要視されるチャージャ製品に対応した出力電圧がプログラマブルな電源のいずれかを選択できます。たとえば、リチウムイオン電池は、最初は定電流でゆっくりと電圧を上げながら充電し、最後は定電圧で充電するのが最適です。USB PD 非対応の製品の電圧は固定なので、損失の大きなレギュレータ

でバッテリーの充電制御をする必要があります。PPS の場合、ソース側の電圧が最適に制御されるので、効率をほとんど（あるいはまったく）落とさず充電できます。規格 IEC 63002 ^[3]は、外部電源（EPS）を監視・制御するためのプロトコルを定義しています。

また、USB Type-C™ ケーブルを備えた USB PD には安全管理機能が組み込まれており、ケーブルが耐えることができない大きな電流を要求する USB PD に非対応のデバイスが接続されるなどの不測の事態にも対応します。接続されたデバイスやケーブルは、ただちに USB-IF 準拠かどうか識別され、そうでない場合は、レガシーレベルの電力 5V/0.5A のみが許可されます。

図 4 は USB Type-C™ コネクタのピン配列です。チャンネル CC1 および CC2 を使用して、ケーブルの方向、ソースとシンクの電流方向、および電力レベルのネゴシエーションを識別します。GND、VBUS、およびレガシー USB 2.0 の信号線を対称的に配置することにより、コネクタ「反転」対応、つまり表・裏を意識せずにコネクタを抜き差しできるようになっています。ただし、スーパースピードライン TX1+/-、RX1+/-、TX2 +/-、RX2+/- は反転互換ではないので接続されたデバイスは方向を検出し、マルチプレクサを介してデータラインをルーティングする必要があります。USB 3.1 規格ではスーパースピードラインは 4 本しか使用しないので、残りの信号線はリザーブピンとして確保され、また代替モード（Alternate Mode）で使用することができます。例えば、このケーブルをモニターで使用することができ、コネクタを介して DisplayPort ビデオ信号をルーティングします。他には HDMI、Thunderbolt™、MHL や PCIe® 等も含まれます。SBU ピンは USB では使用していませんが、ディスプレイポートの AUX 信号として使用可能です。

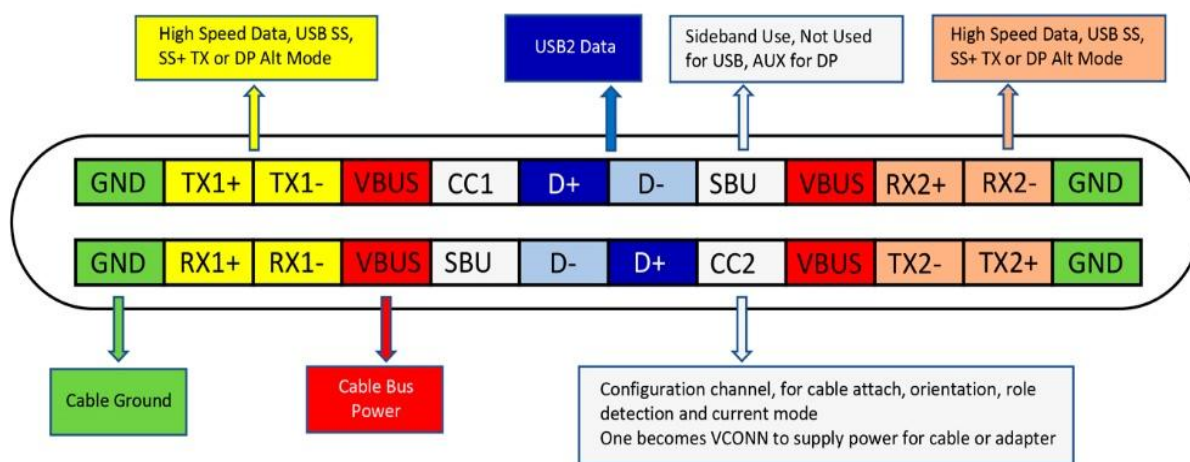


図 4. USB Type-C™ コネクタのピン割り当て

USB Type-C™ コネクタで使用されるケーブルの断面を図 5 に示します。準拠したケーブルには「E マーカー」が組み込まれており、メーカー、ケーブルの仕様などに関する情報をコントローラに返し、偽造品排除などの対策を行っています。

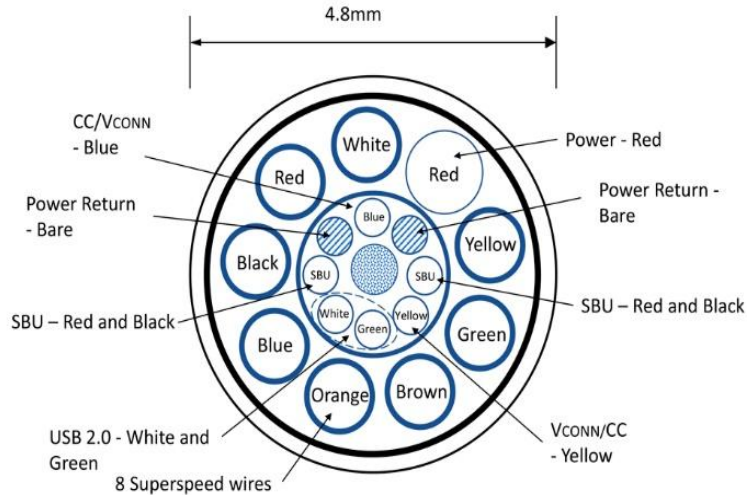


図5. USB Type-C™ ケーブルの断面

USB PD 機能を実装するコントローラの役割

より柔軟な接続・使用が可能となったことに伴い、パワーフローやデータ接続を監視・制御するアクティブなコントローラがそれぞれのUSB PDに準拠したデバイスで必要になります。図6は、USB Type-C™に準拠したケーブルでACアダプタをデバイスに接続するもっとも一般的な例です。

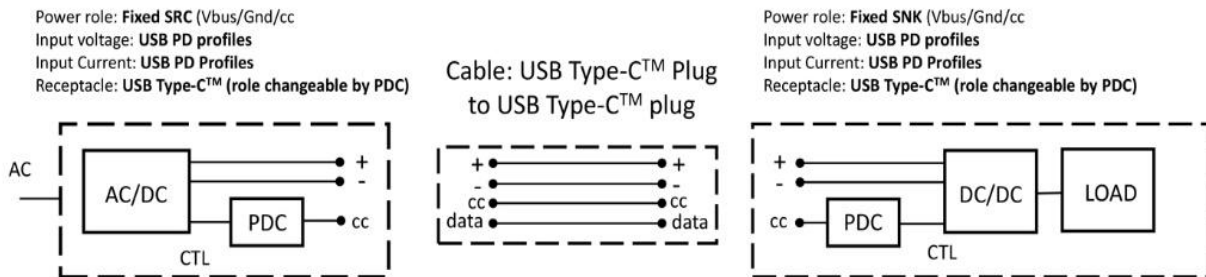


図6. USB Type-C™ ケーブルを使ったUSB PD 接続例：ポータブルデバイスとACアダプタ

ACアダプタとデバイス接続が確立した直後、VBUSライン（図中の「+」）に5Vが印加され、CCラインのプルアップ・プルダウン抵抗によって、左側のアダプタがソースとして右側のデバイスがシンクとして識別されます。通信が開始すると、ケーブル内の「E マーカー」が調べられ、XID 識別子が承認済み製品の「ホワイトリスト」と照合され、ケーブルの許容電流能力（3A または 5A）が認識されます。これは、機器間認証（C-AUTH）と呼ばれます。その後、ソースがどれくらいの給電能力でシンクはどれくらいの電圧や電流が必要なのかといったネゴシエーションが行われます。そして互換性の合意がとれると電源電圧は適切なレベルに引き上げられます。電圧、電流、温度はソースとシンクの両サイドで監視され、問題が検出された場合、ソースは電力を下げます。図7は、USB PD を介してACアダプタで充電する携帯

電話の例で、左側が充電器で右側が携帯電話です。

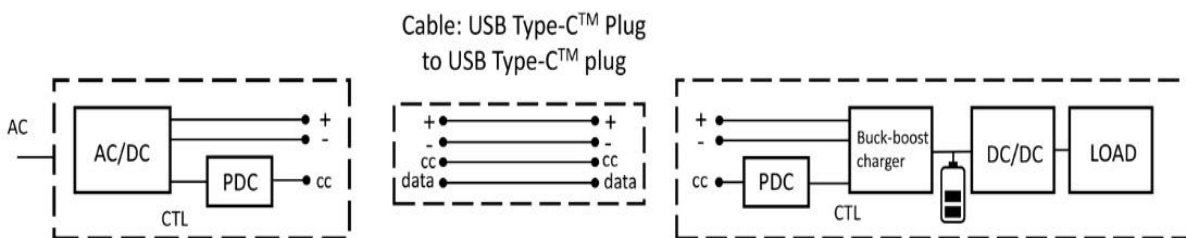


図7. USB Type-C™ ケーブルを使った USB PD 接続例：デバイスと充電器

双方向に給電が必要な場合など、必要な電流の方向が確立されるまで、各デバイスはソースとシンクを「トグル」する「ハンドシェイク」という初期状態が同様に発生します。

USB PD には専用コントローラが必要

USB PD の監視や制御は非常に複雑なため、Fast Role Swap やプログラム可能な電源機能を含む専用コントローラが開発されました。USB PD 対応デバイスは、過電圧、電流、温度の障害状態監視、さらにケーブルや接続されたデバイスの信頼性を検証する C-AUTH 機能も含まれています。よって、専用コントローラ (MCU) には C-AUTH 機能が内蔵され、内部フラッシュはデバイス仕様と XID ごとに書き換えることができます。電源バス電圧の監視と微調整によって接続デバイスの効率を最適化することにより、低電力 PC 周辺システムの EnergyStar® および EuP 規格に準拠できます。例えば、ルネサス USB PD コントローラ R9J02G012^[4] は、オンチップオシレーター内蔵で 3.6 x 3.1mm の小型 BGA パッケージに封入され、さらにアップグレードやメンテナンスのために USB Type-C™ ケーブルを介してファームウェアの更新が可能です。

ソース側の電源要件は、USB PD 仕様に従って監視および制御できる AC/DC または DC/DC コンバーターが必要です。たとえば、図 6 および 7 の AC/DC アダプタは、パルス幅変調 (PWM) 制御されたフライバック回路によって固定電圧または可変電圧を出力するプログラマブル電源ですが、ルネサス RAA230161^[5] などの電源 IC は、95% の効率で最大 60W を提供できる内部スイッチング MOSFET を備えており、R9J02G012 などの USB PD コントローラと併用すると、最小限のボード面積で統合ソリューションを形成できます。ルネサス ISL95338 シリーズ製品は、外部スイッチング MOSFET を使った汎用構造のバックブーストレギュレータ構成^[6]にも使用できます。ルネサス ISL9241^[7]などの部品は、バッテリーの充電とバッテリーを使った電源供給、およびバックブースト DC/DC 電力変換にも対応します。

電力変換を双方向にする必要がある製品は多数ありますが、USB Type-C™ ケーブルでポータブルデバイスに接続された「USB バッテリー」もその 1 つです (図 8)。

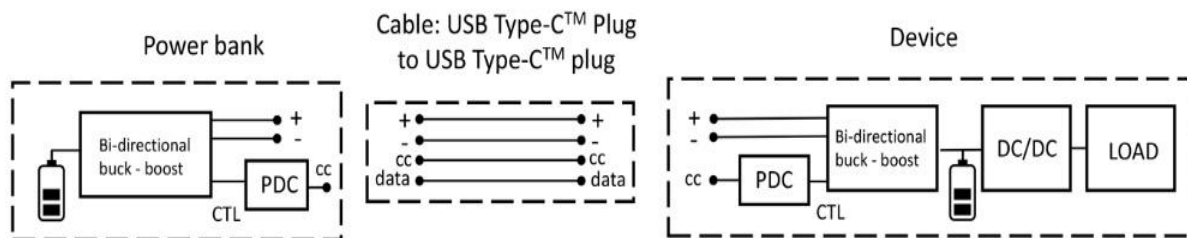


図8. USB PD タイプのUSB バッテリー

USB バッテリーが充電される場合は、デバイスから 5~20 V の USB PD 範囲内の電圧が供給され、最終的なリチウムイオン電池セルの電圧は、USB バッテリー内のステップダウン・バックコンバータから得られます。USB バッテリーが電力を供給する場合は、ブーストコンバータで USB PD 範囲内の電圧に昇圧しソース側に電力を供給します。図 9 のように、バックブーストコンバータトポロジを使えば、1 つの電力段で両方の機能に対応します。

一方の MOSFET ペアをオン・オフに固定し、もう一方のペアを PWM 制御することで、ブーストまたはバック機能を実現しどちらの方向にでも電圧を送れます。

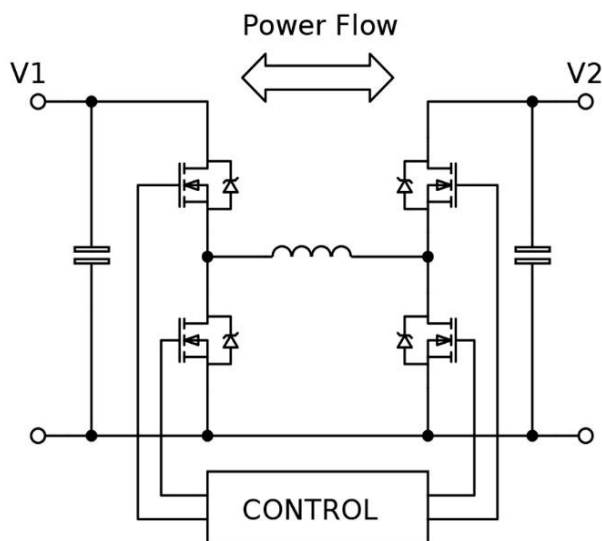


図9 汎用 MOSFET を使ったバックブーストレギュレータ

単に行うことができます。

USB PD システムのコンポーネントは、USB 規格の動作保証を行う USB IF コンプライアンスプログラムの認定を受けることが可能です。準拠した製品はインテグレータリストに追加され、USB-IF 認定ロゴ表示ができるライセンスを取得できます。www.usb.org には、無料で閲覧できるドキュメントライブラリ、開発者情報、コンプライアンスプログラムの詳細が掲載されています。USB-IF コンプライアンス要件を

バッテリーが低電圧まで放電された状態においても、ブースト変換によってポータブルデバイスに戻される電圧は USB PD 範囲内に維持されます。バックブーストコンバータには PWM コントローラが必要ですが、ルネサス製品は USB PD コントローラと統合され、ソースとシンク、降圧と昇圧のシームレスな役割反転機能や必要なすべての障害監視機能にも対応しています。

リファレンスデザインキットは、USB PD 製品ソリューションを開発し、ファームウェアを介して製品の要求仕様に合うよう特性変更を行うために無くてはならない機材です。現在、ルネサスから入手可能なリファレンスキットには、汎用パワーシンク、マルチポートの USB PD バックブースト DC/DC モジュール、および 1 ポートのバッテリーパックなどが揃っています。ルネサス MCU のフラッシュメモリ書き換え機能により、デバッグが簡単で、完成したファームウェアの更新は USB 接続を介して簡

満たした製品の検索機能も提供されています。すべてのルネサス USB PD 製品はこの規格の準拠しており、ルネサス USB PD 製品を使用した応用製品も USB PD 準拠となり USB-IF ロゴを表示できます。

結論

USB PD は、携帯電話から大きな電力を消費するラップトップ PC やモニターといった多様なデバイスの電源供給に大改革を起こします。USB PD 技術は、ケーブルやコネクタ、必要な電源の数を削減し、環境問題を引き起こすエネルギー、コスト、廃棄物を削減し、電源事故に対する保護機能やユーザーの利便性を向上させる機能にも対応しています。ルネサスの統合コントローラー群を使用すると、USB PD ソリューションの実装がかつてないほど容易になります。ルネサス社の包括的な設計ガイドラインとアプリケーション情報は、同社の Web サイト www.renesas.com で入手できます。

References 参考資料

- [1] USB Implementers Forum <https://www.usb.org/>
- [2] IEC 62680-2-1: 2015 Universal serial bus interfaces for data and power
- [3] IEC 63002: Identification and communication interoperability method for external power supplies used with portable computing devices
- [4] Renesas R9J02G012 <https://www.renesas.com/products/renesas-usb-power-delivery-family/c30-group/r9j02q012.html>
- [5] Renesas RAA230161 <https://www.renesas.com/products/renesas-usb-power-delivery-family/u30-group/raa230161.html>
- [6] Renesas ISL95338 <https://www.renesas.com/products/power-management/battery-management/multiple-cell-battery-chargers/device/ISL95338.html>
- [7] Renesas ISL9241 <https://www.renesas.com/products/power-management/battery-management/multiple-cell-battery-chargers/device/ISL9241.html>

©2019 Renesas Electronics Corporation またはその関連会社（Renesas）が全著作権を所有。すべての商標および商品名は、それぞれの所有者のものです。ルネサスは、本書に記載されている情報は提供された時点では正確であると考えていますが、その品質や使用に関してその責任を負いません。すべての情報は、商品性、特定の目的への適合性、または非侵害を含みますがこれらに限定されないことを含め、明示、黙示、法定、または取引、使用、または取引慣行の過程から生じるかどうかにかかわらず、いかなる種類の保証もなく現状のまま提供されます。ルネサスは、直接的、間接的、特別、結果的、偶発的、またはその他の損害について、そのような損害の可能性が通知された場合でも、本書の情報の使用または信頼から生じる責任を負いません。ルネサスは、予告なしに製品の製造を中止するか、製品の設計や仕様、または本書の他の情報を変更する権利を留保します。すべてのコンテンツは、米国および国際著作権法によって保護されています。本資料で特に許可されている場合を除き、本資料のいかなる部分も、ルネサスからの書面による事前の許可なしに、いかなる形式または手段によっても複製することはできません。訪問者またはユーザーは、いかなる公共または商業目的のために、この資料の派生物を修正、配布、公開、送信、または作成することを許可されていません。