

USB Power Delivery で USB 給電がさらに便利に

概要

データ通信と電力供給のための機器間接続は、双方向で最大 240W の電力伝送が可能な USB Power Delivery の登場により、大きく進化しつつあります。本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[®]ケーブルとコネクタを用いて超高速通信を実現するとともに、周辺機器の動作やバッテリー充電に必要な双方向の電力供給を可能にする、この規格について説明します。また、USB Power Delivery がもたらす実用的な利点に加え、接続構成の簡素化や配線数の削減、さらには環境負荷の軽減といった広い観点でのメリットについても取り上げます。あわせて、電力フローを制御するインタフェース設計向けの集積回路ソリューションについても紹介します。

目次

概要	1
USB 給電の歴史	2
USB Power Delivery による追加機能.....	3
USB Type-C [®] コネクタがさらなる機能を実現.....	4
USB PD 機能を実装するコントローラーの役割.....	7
USB PD の専用コントローラー	7
結論	10
参考資料	10
改訂履歴	11

USB 給電の歴史

ユニバーサル・シリアル・バス (USB) は、1994 年に Intel、Microsoft、Compaq、IBM、NEC などの主要企業が参加するフォーラムで構想されました。その目的は、拡張カードや専用ドライバーを必要としていたコンピュータのシリアル/パラレル・インタフェースを、より高速でプラグ・アンド・プレイに対応した汎用シリアル・インタフェース、すなわち USB に置き換えることでした。当初は、通信速度の向上と相互運用性の改善が重視されていましたが、あわせてホストからの+5V 電源と、そのリターン用の配線も盛り込まれました。初期の USB 1.0 仕様で供給できる電流は 100mA に限られていましたが、これはマウスなど消費電力の小さい周辺機器には十分有効でした。

データ転送の高速化が求められるようになると、USB 1.0 の 12 Mbps、いわゆる「フルスピード」では不十分になり、2000 年には 480Mbps へと大幅に高速化した USB 2.0 が登場しました。USB の基本原則は下位互換性であり、USB 2.0 対応機器でも 12Mbps、さらには 1.5Mbps といった低速モードで動作できました。また USB 2.0 では、5V の電源供給能力も 500mA/2.5W に強化され、携帯電話などのモバイル機器の充電に活用できることがすぐに注目されました。USB ポートが、データ通信を伴わない充電専用ポートとして使われることが一般化する中、設立団体である USB Implementers Forum(USB-IF)^[1] は USB 3.0 を導入し、ほかの改良とあわせて電力供給能力を 900mA/4.5W に引き上げるとともに、「CDP (Charging Downstream Port)」モードを追加しました。さらに 2007 年にはバッテリー充電仕様 (USB BC) が策定され、5V で最大 1.5A、すなわち 7.5W までの高電流供給が可能になりました。2010 年の BC 1.2 では、充電動作に関する仕様がさらに強化されました。現在では、データおよび電力に関する USB の国際標準は、IEC 62680 シリーズ^[2] として整備されています。

それまでの USB では、データは双方向であっても、電力はホスト側からしか供給できませんでした。コネクタは常時 5V が印加されている「ホット」状態であるため、理論上、2 台のホストを相互接続してデータ交換できても、双方が電力を供給しようとしてしまい、どちらか一方、あるいは両方が損傷するおそれがありました。また、異なる電流レベルで電力供給できるアクティブ機器では、利用可能な電力と必要な電力を周辺機器に伝えるために「列挙 (enumeration)」が必要であり、これはデータ線を使って行われるため、その間はデータ通信が妨げられました。一方、専用充電ポートではこの列挙は不要でした。しかし、こうした欠点に加え、7.5W という電力上限も、USB を介した給電機能のさらなる発展にとって課題となっていました。

その一方で、デスクトップ PC やラップトップ PC に接続して給電する周辺機器の構成はますます複雑になり、互換性の問題も目立つようになっていきました。多くの機器では、ノート PC 向けの 19V や、プリンターや外付けハードドライブ向けの 12V などを得るために、AC 電源アダプターが使われるようになりました。その結果、机の上は図 1 に示すように、互換性のない電源ケーブルやデータケーブルが何本も絡み合う状態になりがちでした。

USB Type-C® and USB-C® are trademarks of USB Implementers Forum. All product names, trademarks and registered trademarks are property of their respective owners.

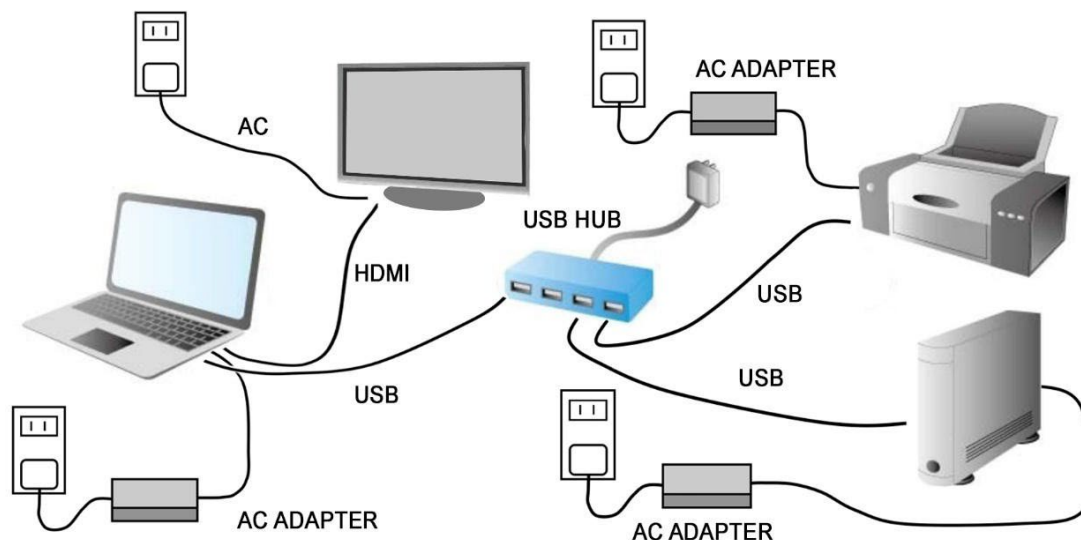


図 1. USB PD 登場以前の結線例

外出や旅行の際には、重いアダプターや充電器をいくつも持ち歩かなければならず、場合によっては海外用の変換プラグも必要でした。さらに家庭には、新しく購入した機器には使えないケーブルや古いアダプターが箱いっぱいにとまりがちで、電子廃棄物の増加も問題になってきました。また、USB コネクタも「標準」「ミニ」「マイクロ」といった形状に加え、Type-A、Type-B、Type-AB など多くの種類が登場し、標準化を進めるどころか、かえって分かりにくさを招く面もありました。USB 3.0 では「SuperSpeed」転送モードが導入され、転送速度は当初の 5Gbps から、USB 3.1 では 10Gbps へと向上、2026 年時点の最新規格である USB4 Version 2.0 では、最大 80Gbps の通信速度がサポートされています。

USB Power Delivery による追加機能

電力供給の上限という課題に対応するため、USB の電力供給規格である USB PD 1.0 が、2012 年に USB Implementers Forum(USB-IF)により策定されました。これにより、出力電圧は 5V~20V、ネゴシエーションによって決まる最大電流は 5A となり、最大 100W の電力供給が可能になりました。さらに、2026 年時点の最新規格である USB PD 3.2 では、最大 240W(48V/5A)までの給電・受電に対応しています。USB-IF のライブラリでは、USB Power Delivery Specification Revision 3.2 Version 1.2 が公開されています。

これにより、ノート PC を USB ポートから直接充電したり、モニターのような周辺機器へ USB ケーブル経由で給電したりすることが可能になり、機器ごとに個別の商用電源を用意する必要が減りました。また、この仕様には、過電圧の印加を防ぎ、必要以上の電流が流れないようにするための機器間ネゴシエーションの仕組みも含まれています。接続直後、ソース側はまず 5V を出力します。これは従来の機器に対して安全な値とされ、電力は 10W に制限されます。その後、Output Source Power を設定するためのネゴシエーションが行われます。詳しくは表 1 を参照してください。

表 1. USB PD Output Source Power

Standard Power Range	Current at: (A)		Extended Power Range	Current at: (A)
	Voltage			
+5V	3 (max)	5 (max)	28V	5 (max)
+9V	15W	25W	36V	140W
+15V	27W	45W	48V	180W
+20V	45W	75W		240W
	60W	100W		

USB Type-C[®]コネクタがさらなる機能を実現

USB PD の仕様を最大限に活かす鍵となるのが、**USB Type-C[®]コネクタ**(**図 2**)です。24 個の接点を備え、上下どちらでも挿せるリバーシブル構造を持つこのコネクタは、プラグ高さがわずか 2.4mm と、Type-A や Type-B よりも小型で、薄型製品に最適です。さらに、DisplayPort[™] over USB-C[®]などのオルタネートモードに対応しており、ノート PC に搭載するコネクタの種類を削減することが可能です。

また、ノート PC などから電力を供給し、それを USB Type-C[®]ケーブル経由でモニターやその他の周辺機器へ分配することができるため、個別の電源アダプターは必ずしも必要ではなくなります。モニター用の映像信号も、DisplayPort[™] オルタネートモードを利用して伝送可能です。その結果、**図 3** に示すように、商用電源への接続は 1 本で済み、それ以外のケーブルも同一規格に統一することができます。



図 2. USB Type-C[®] コネクタ

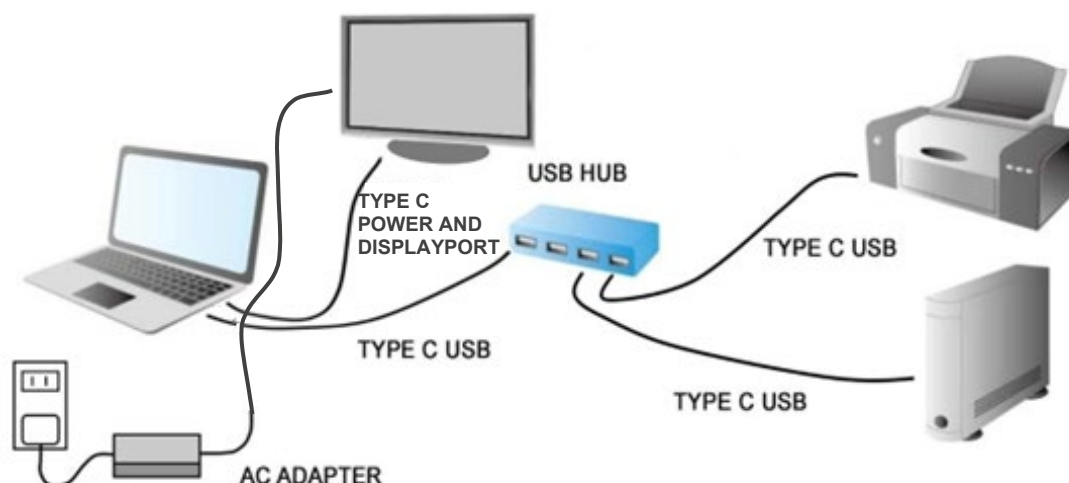


図3. USB Type-C®接続による結線

このコネクタの初期状態は「コールド」状態であり、接続された機器間でソース側とシンク側が識別されるまでは電圧は印加されません。これにより電力の双方向フローが可能となり、その方向もシームレスに切り替えることができます。この機能は **Fast Role Swap(FRS)** と呼ばれ、例えばモバイルバッテリーをノート PC と 1 本の **USB Type-C®** ケーブルで接続しているとき、モバイルバッテリーに蓄えられている電力がなくなった時点で、放電側と充電側の役割を自動的に切り替えることが可能です。

さらに電源供給では、固定電圧（5V、9V、15V、20V）に加え、電圧を可変設定できる **Programmable Power Supply (PPS)** や **AVS (Adjustable Voltage Supply)** にも対応しており、充電をきめ細かく制御することで高効率を実現できます。一般にリチウムイオン電池は、初期は定電流で充電しながら電圧を徐々に上昇させ、その後定電圧充電へ移行する方式が最適とされています。USB PD 非対応の固定電圧システムでは、この制御を損失の大きいレギュレーターでバッテリー側に実装する必要がありましたが、PPS を利用すれば、ソース側のスイッチング電源をプログラムすることで同様の制御が可能となり、効率低下をほとんど、あるいはほぼゼロに抑えることができます。また、IEC 63002 規格[3]では、外部電源（EPS: External Power Supply）を監視・制御するためのプロトコルが定義されています。

USB Type-C[®]コネクタのピン配置(図 4)を見ると、構成チャネルである CC1 と CC2 は、ケーブルの向きの識別、ソース側とシンク側の電流方向の判定、そして電力レベルのネゴシエーションに使用されます。コネクタを裏表どちらでも挿せるのは、GND、VBUS、および従来の USB 2.0 接続が対称配置されているためです。一方で、高速データラインである TX1+/-、TX2+/-、RX1+/-、RX2+/- は単に相互に置き換えることはできません。そのため、接続されたデバイスはプラグの向きを検出し、マルチプレクサを用いて適切なデータラインへ切り替える必要があります。USB 3.x では、構成に応じて 1 レーンまたは 2 レーンの SuperSpeed 信号が使用され、残りのレーンが予約されるか、Alternate Mode や USB4 の用途に割り当てられます。例えば、モニター接続時には DisplayPort の映像信号を本コネクタ経由で伝送することができ、さらに HDMI や Thunderbolt™ などの用途にも対応可能です。なお、SBU ピンは USB 通信では使用されませんが、DisplayPort アプリケーションでは AUX チャネルとして利用されます。

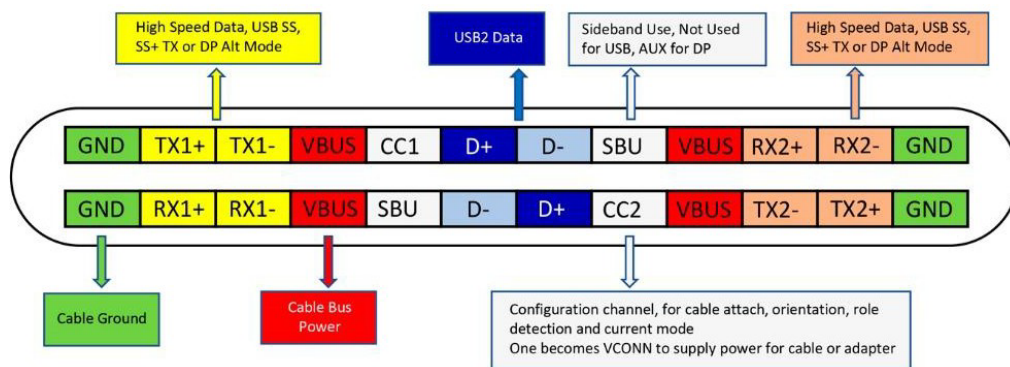


図 4. USB Type-C[®]コネクタのピン配置

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。規格に準拠したケーブルには「E-Marker」が内蔵されているものもあり、製造元やケーブルの仕様などの情報をコントローラーに通知します。これにより、ケーブルの性能を正しく認識できるだけでなく、偽造品の識別にも有効です。

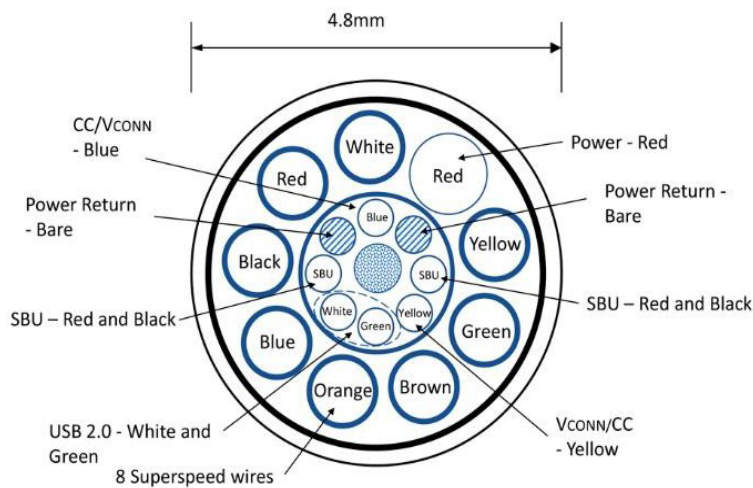


図 5. USB Type-C[®]ケーブルの断面

USB PD 機能を実装するコントローラーの役割

このような柔軟性を実現するためには、電力フローとデータ接続を監視・制御する必要があります。その結果、USB PD システムの両端に接続される機器にはアクティブなコントローラーが不可欠となります。ここでは、規格準拠の USB Type-C[®]ケーブルを用いて AC アダプターをデバイスに接続する典型的なシナリオについて、図 6 を参照しながら説明します。

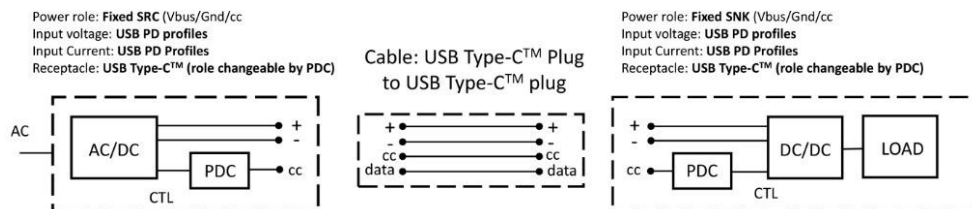


図 6. USB PD デバイスと AC アダプターの USB Type-C[®]接続

接続が確立されると、VBUS(図中の「+」)に 5V が印加され、CC ライン上のプルアップまたはプルダウン抵抗によって、左側のアダプターがソース、右側のデバイスがシンクとして識別されます。その後通信が開始され、ケーブル内の E-Marker が照会されることで、システム電圧およびケーブルの許容電流 (3A または 5A) が確認されます。続いてネゴシエーションが行われ、ソースは供給可能な電力能力を提示し、シンクは要求する電圧および電流を通知します。互換性が確認されると、ソース電圧は適切なレベルへ引き上げられます。電圧・電流・温度はソース側とシンク側の双方で監視され、異常が検出された場合にはソースの出力電力が制限されます。もう一つの代表的な例として、AC/DC アダプターからスマートフォンを充電するケースがあり、これは図 7 に示されています。左側が充電器、右側がスマートフォンに相当します。

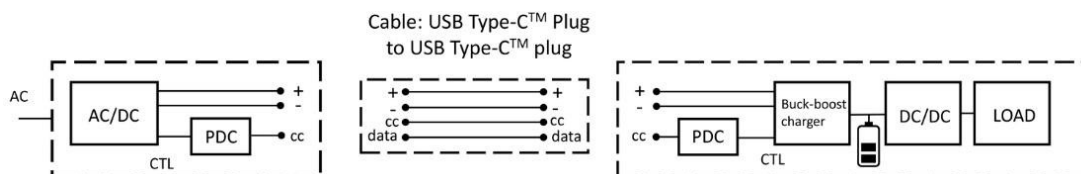


図 7. スマホと AC アダプターの USB Type-C[®]接続

電力を双方向で供給する必要がある場合、各デバイスはソースとシンクの状態を交互に切り替えながら、所望の電流方向が確立されるまで同様のハンドシェイク処理を行います。

USB PD の専用コントローラー

必要となる監視および制御の複雑さに対応するため、Fast Role Swap(FRS)や Programmable Power Supply (PPS)といった機能をサポートするコントローラーが開発されています。これらのデバイスには、過電圧・過電流・過温度といった異常状態を監視する機能を組み込むこともできます。コントローラーにこのような高度なインテリジェンスを持たせることで、バス電圧の監視および制御を通じてシステム全体の損失を最適化し、低消費電力 PC 周辺機器システムに求められる Energy Star[®]や EuP 規格への適合を実現できます。さらに、オンチップ発振器を内蔵した自己完結型デバイスとすることも可能で、例えば Renesas の R9A02G011^[4]は、3.6 × 3.1mm の小型 BGA パッケージを実現しています。

ソース側の電力要件に対応するには、USB PD 仕様に準拠した監視および制御が可能な AC-DC または DC-DC コンバーターが必要です。ここでも統合ソリューションが利用可能であり、**図 6** および **図 7** に示す AC-DC アダプターは、固定出力電圧に加えて PPS アプリケーション向けの可変出力にも対応するため、PWM（パルス幅変調）制御を備えたフライバックコンバーターをベースに構成される場合があります。

Renesas RAA489800^⑤は、外部スイッチング MOSFET 対応のバックブースト・レギュレーターであり、Renesas RAA489118^⑥は、バッテリーの充放電およびバックブースト DC-DC 変換機能を統合しています。これらを R9A02G011 のような USB PD コントローラーと組み合わせることで、小面積で高集積な電源ソリューションを実現できます。

双方向の電力変換が必要とされるアプリケーションの代表例が、USB Type-C[®]ケーブルで携帯機器に接続されるモバイルバッテリーであり、その構成を**図 8**に示します。

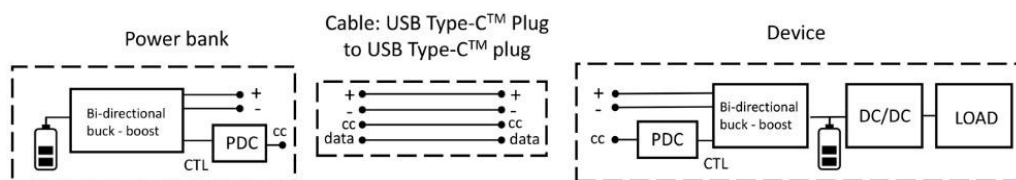


図 8. モバイルバッテリーの USB Type-C 接続

モバイルバッテリーが充電される際には、USB PD の電圧範囲である 5V~48V 内の電圧でデバイス側から電力が供給され、最終的なリチウムイオン電池セル電圧は、モバイルバッテリー内部のステップダウン・バックコンバーターによって生成されます。一方、モバイルバッテリーが電力を供給する場合には、ブーストコンバーターにより、USB PD の範囲内の電圧に昇圧して外部へ供給します。これら 2 つの機能は、単一の電力段で実現可能なバックブースト・コンバータートポロジーによって統合することができ、その構成を**図 9**に示します。さらに、USB PD の電圧範囲が最大 48V まで拡張されたことに対応し、**図 9**に示す従来の 2 レベル構成に加えて、より高効率を実現する 3 レベルのバックブースト・コンバーターも開発しています。

2 レベル構成では、MOSFET の組み合わせを固定的にオンまたはオフに設定し、他方の MOSFET を PWM 制御でスイッチングすることで、昇圧動作と降圧動作の両方を双方向で実現できます。

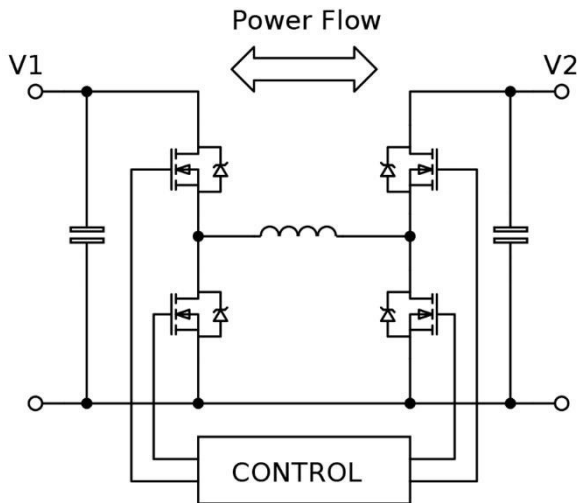


図9.2 レベルのバックブースト・コンバーター

バッテリーの放電が進んで電圧がデッドバッテリーレベルにまで低下した場合でも、ブースト(昇圧)動作により、携帯機器に供給される電圧を USB PD の規定範囲内に維持することが可能です。バックブースト・コンバーターには PWM コントローラーが必要ですが、Renesas では USB PD コントローラーと統合可能で、ソース/シンクおよび降圧/昇圧の役割切り替えをシームレスに行い、必要な保護・監視機能をすべて備えたソリューションが提供されています。

リファレンスデザインキットは、ファームウェアによる性能最適化を可能にし、USB PD 開発を効率化します。Renesas は、汎用パワーシンク、マルチポート対応の USB PD バックブースト DC/DC モジュール、さらに 1 ポートのモバイルバッテリー (バッテリーパック) 向けソリューションや USB Type-C® バッテリーシステムの実装を支援する評価ボードなどの各種キットおよび評価ボードを提供しています。さらに、Renesas のコントローラーにはフラッシュメモリの書き換え機能が統合されているため、デバッグが容易であるとともに、完成後の設計更新も USB 接続を介して簡単に実施できます。

USB PD システムを構成する部品は、USB 仕様への適合性を保証する USB-IF (USB Implementers Forum) の準拠プログラムの認証を受けることが可能です。準拠した製品は Integrators List に登録され、USB-IF ロゴの使用ライセンスを取得することができます。USB-IF の Web サイト (www.usb.org) では、無償で閲覧可能な仕様書ライブラリや開発者向け情報に加え、準拠プログラムの詳細が提供されています。また、準拠製品を検索できる機能も備えられており、要件を満たすデバイスを容易に特定できます。

Renesas の USB PD 製品はすべてこれらの要件に準拠しており、それらを用いて開発された最終製品も、USB-IF ロゴを表示可能な準拠製品として認証を取得することが可能です。

結論

USB PD は、携帯電話から高電力を必要とするノート PC やモニターに至るまで、機器への電力供給のあり方を大きく変革する技術です。これにより、必要なケーブルや電源アダプターの数を削減でき、エネルギー消費やコストの低減に加えて、環境負荷の軽減も期待されます。さらに、優れたユーザビリティに加え、安全性を確保するための保護機能も備えています。Renesas の提供する統合型コントローラ製品群により、USB PD ソリューションの実装はこれまで以上に容易になっています。なお、詳細な設計ガイドラインやアプリケーション情報については、同社の Web サイト(www.renesas.com)で提供されています。

参考資料

- [1] USB Implementers Forum www.usb.org
- [2] IEC 62680 series 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 R9A02G011 <https://www.renesas.com/jp/products/R9A02G011>
- [5] Renesas RAA489800 <https://www.renesas.com/jp/products/RAA489800>
- [6] Renesas RAA489118 <https://www.renesas.com/jp/products/RAA489118>

改訂履歴

版数	日付	説明
2.00	May 26, 2026	USB規格関連と製品情報を更新
1.00	Jan, 2019	初版

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

RENESAS ELECTRONICS CORPORATION AND ITS SUBSIDIARIES (“RENESAS”) PROVIDES TECHNICAL SPECIFICATIONS AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES “AS IS” AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD-PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for developers who are designing with Renesas products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate products for your application, (2) designing, validating, and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. Renesas grants you permission to use these resources only to develop an application that uses Renesas products. Other reproduction or use of these resources is strictly prohibited. No license is granted to any other Renesas intellectual property or to any third-party intellectual property. Renesas disclaims responsibility for, and you will fully indemnify Renesas and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, or liabilities arising from your use of these resources. Renesas' products are provided only subject to Renesas' Terms and Conditions of Sale or other applicable terms agreed to in writing. No use of any Renesas resources expands or otherwise alters any applicable warranties or warranty disclaimers for these products.

(Disclaimer Rev.1.01)

Corporate Headquarters

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan
www.renesas.com

Trademarks

Renesas and the Renesas logo are trademarks of Renesas Electronics Corporation. All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

Contact Information

For further information on a product, technology, the most up-to-date version of a document, or your nearest sales office, please visit www.renesas.com/contact-us/.