

Technical Article

バレル ジャックから **USB Type-C PD** への移行

Max Wang, Brian King

ここ数年、**USB Type-C®** およびパワーデリバリ (PD) 規格は、さまざまなエレクトロニクス分野で採用されてきました。この採用を後押ししているのは、統合型ポート (電気電子機器廃棄物の削減)、リバーシブルコネクタによる利便性、高出力対応といった利点です。

図 1 に示すように、USB PD 3.1 の最新リリースでは、USB の電力能力が最大 240W に拡張され、従来の USB PD 3.0 仕様で提供されていた 100W の 2 倍以上に達しました。これにより、USB からさまざまな新しいアプリケーションに電力を供給できます。電気電子機器廃棄物を低減するために、欧州連合 (EU) およびインドは、2025 年にパーソナル エレクトロニクス向けの **USB Type-C** 採用を義務づける法律の制定が始まっており、この流れは電動工具、スマートスピーカー、掃除機、電動自転車の充電器、ネットワーク機器といった分野にも広がっていくと予想されます。こうした動向や規制を背景に、多くのメーカーは、自社製品の電源コネクタをバレルジャックから **USB-C** コネクタへと変換するための、シンプルかつ低コストな手段を模索しています。

USB Protocol	Nominal Voltage	Maximum Current	Power
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB BC1.2	5V	Up to 1.5A	Up to 7.5W
USB Type-C	5V	3A	15W
USB PD 3.0	Configurable up to 20V	5A	Up to 100W
USB PD 3.1	Configurable up to 48V	5A	Up to 240W

図 1. 最新の USB PD 3.1 リリースで USB の電力能力を最大 240W まで拡張する USB 電力規格。出典: テキサス・インスツルメンツ

今回の **Power Tip** では、システム電力の考慮点を取り上げ、**USB-C** コネクタと電力管理回路を迅速かつ容易に実装し、設計に必要な電力に応じた **USB PD** コントラクトをネゴシエートする方法を示します。

USB PD の電力フロー

USB PD エコシステムには、電力のシンクのみが可能なデバイス、電力をソースのみできるデバイス、双方向の電力フロー (デュアルロール電源) を可能にするデバイスの 3 種類があることに注目すべきです。本記事では、シンク専用アプリケーションに焦点を当てます。

USB PD を利用するシンク デバイスが USB PD 電源から電力を受け取る前に、給電されるデバイスと電源側との間でハンドシェイクおよびネゴシエーションを行う必要があります。これは、USB PD パワーバスの電圧が、電源の電力能力によっては 5V から 48V まで変動し得るためです。もちろん、15V の入力ソースで動作するようにのみ設計されたシンクデバイスに 48V を印加してしまうのは望ましくありません。USB PD シンクアプリケーションでは、この電力契約のネゴシエーションを実行し、過電流や過電圧などの保護を提供するポートコントローラと呼ばれる専用デバイスが必要です。従来は、適切な機能を設定した USB PD ポート コントローラを追加するには、USB 認証に関する深い知識と大規模なファームウェア開発が求められてきました。しかし、電源アーキテクチャを簡素化し設計の複雑さを低減するため、図 2 に示すように、事前にプログラムされた USB PD コントローラを用いれば、設計者は単純な分圧抵抗設定だけで最大/最小電圧および電流シンク能力を構成できます。この結果、外付けの EEPROM (電氣的に消去可能なプログラマブル読み取り専用メモリ) やマイコン、あらゆる種類のファームウェア開発が不要になります。

ADCIN1 Decoded Value	Minimum Voltage Configuration
0	5V
1	9V
2	12V
3	15V
4	20V
ADCIN2 Decoded Value	Maximum Voltage Configuration
1	9V
3	12V
5	15V
7	20V

図 2. 事前プログラムされた USB PD コントローラの ADCIN ピンは、シンプルな分圧抵抗設定によって、最大/最小電圧および電流のシンク能力を設計者が構成できるようにします。出典: テキサス・インスツルメンツ

電力契約の交渉と、システム電力要件の整合

製品を USB PD 対応へと変換する前に、USB PD エコシステムの制約や要件を理解しておくことが重要です。ケーブルのソース側では、USB PD 電源がシステムに電力を供給しますが、製品を使用しているユーザーは、絶任意の USB PD アダプタやその他の電源を接続する可能性があります。そのため、システムに最大電力を供給するには、どのような電力契約が必要かを検討する必要があります。また、そのアダプタから十分な電力が得られない場合にシステムがどのように動作するかについても検討しなければなりません。

USB Type-C ケーブルから利用可能な電流は、20V 未満の電圧では 3A、20V 以上の電圧では 5A に制限されます。加えて、USB PD 電源は、ケーブルで許容される最大電流において定格電力を供給するために必要な最小電圧を生成すればよいと規定されています。たとえば、45W のアダプタは通常、15V の最大出力電圧を供給します。これは、45W を 3A で割ると 15V になるためです。

では、システムが 15V 電源で動作するように設計されているものの、50W の電力を必要とする場合はどうでしょうか。この場合、システムを動作させるのに十分な電力を確保するために、より電圧の高いコントラクト (たとえば、20V) に対応するようにポート コントローラを構成する必要があります。また、このわずかに高い入力電圧に対応できるよう、システム自体も設定する必要があります。この場合、USB Type-C コネクタとポート コントローラを追加するだけでなく、製品に若干の改良を施す必要があるかもしれません。加えて通常は、電力容量が不十分な USB PD ソース (電力供給源) に接続された場

合でも、製品はある程度動作可能であることが望ましいですが、その際には性能を抑えて動作させるといった対応が考えられます。

設計例

例として、以前は 15V バレルジャックから電力を供給されていた 4S ~ 7S バッテリーを 27W で充電する製品を考えます。この例では、充電状態によっては、バッテリー電圧が 15V の入力より高い場合や低い場合があるため、昇降圧コンバータを使用していました。この設計を USB PD 入力に変換する場合、TPS25730 のようなシンプルなおスタンドアロンの USB PD コントローラや昇降圧バッテリーチャージャを用いるだけで済みます。図 3 に、システム図を示します。ご覧のとおり、バレルジャックを USB PD ポートに変換するために必要な部品はわずかです。ADCIN4 ピン経由で ADCIN1 に接続された単純な抵抗により、ファームウェア開発を必要とせず電力プロファイルを設定できます。この場合、利用可能な電力が減少しても製品を 5V 電源から充電する必要があるため、TPS25730 は最大電圧 20V、最小電圧 5V、動作電流 3A に設定しています。

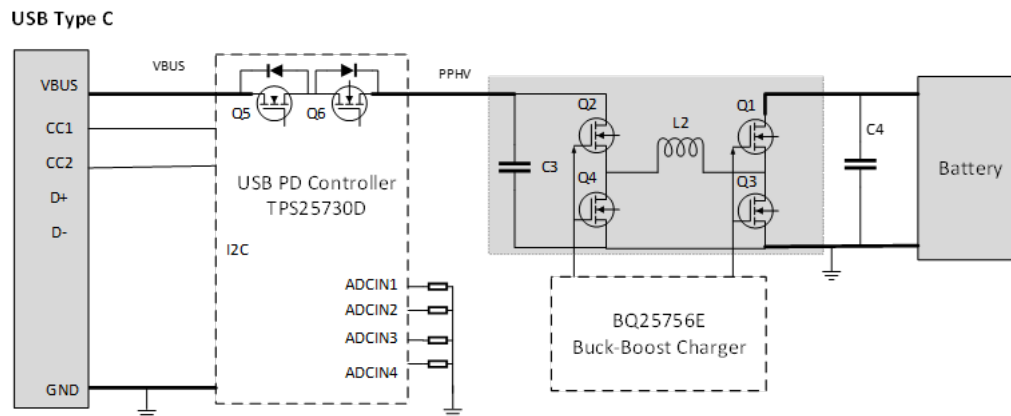


図 3. 27W USB PD シンク専用チャージャのリファレンスデザインのブロック図。出典: テキサス・インスツルメンツ

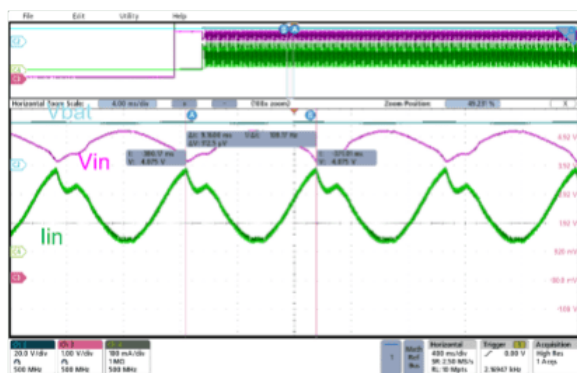
入力電圧のダイナミックな電源管理

USB PD ソース入力のサポートに加えて、この設計は 5V や 2A などの従来の USB 入力ソースにも対応する必要があります。入力電力を制限したときの入力電圧の低下を防止するため、BQ25756E には入力電圧のダイナミック パワー マネージメント機能を搭載されており、入力電圧がパラメータ V_{in_dpm} で設定した値まで低下すると、充電電流を制限します。 V_{in_dpm} は、入力電圧からケーブルおよび電源経路での電圧降下を差し引いた値よりやや低めに設定することで、入力電源に過負荷をかけず、入力バスの不安定化も防ぎつつ、バッテリー充電電流を最大化できます。

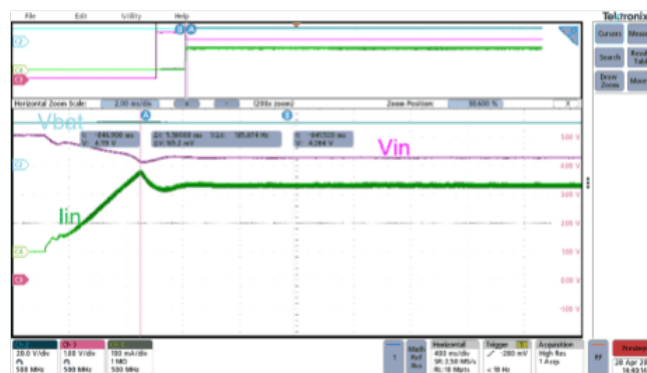
図 4 は、1m の USB ケーブル (0.25Ω の抵抗) を使用した 5V、2A のソースから充電した際の実験結果を示しています。 V_{in_dpm} を 4.75V に設定した場合、入力充電電流が制限され、不安定になることが確認できます (図 4 左側)。一方、抵抗による電圧降下を考慮して V_{in_dpm} を 4.35V に適切に設定すると、入力電圧は安定し、充電電流は 50% 増加します。これにより、充電時間を大幅に短縮することが可能です。

Vin_dpm=4.75V,ICHG=0.21A @5V/2A Source

Vin_dpm=4.35V,ICHG=0.33A @5V/2A Source



unstable and reduced charge current



Stable and increased charge current by 50%

図 4. 1M の USB ケーブルを使用して 5V、2A の電源を受け入れて充電する場合の入力動的パワーマネージメント。出典:テキサス・インスツルメンツ

USB PD の実装

USB PD コントローラとバッテリーチャージャアーキテクチャを簡略化することで、USB PD に関する深い知識は不要になります。追加のマイコンと EEPROM を必要としない (ファームウェア開発も不要) だけでなく、シンプルな抵抗デバイスを使用して電圧および電流シンク能力を設定し、バレルジャックを USB Type-C 入力に迅速に変換することが可能です。ここで紹介した設計例の詳細については、4 ~ 7 セルのバッテリー用の 27W USB パワーデリバリ (PD) シンク専用チャージャの参照設計をご覧ください。

関連コンテンツ

- [Power Tips #129: 1000-V フライバック内で高電圧シリコン FET を駆動します](#)
- [Power Tips #128: 高電圧 DC-link コンデンサ用アクティブ プリチャージ回路の設計](#)
- [Power Tips #75:『車載システム向け USB パワー デリバリ』](#)
- [USB: 信号、コネクタ、および電力供給の違いの解明](#)
- [USB Power Delivery: 互換性の問題に起因する不具合と故障](#)

この記事は、以前 EDN.com で公開された記事です。

商標

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

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