

## ホワイトペーパー

# 新型 USB-C コンボ・バックブースト・バッテリーチャージャを使用したモバイル・コンピュータのシステム性能の最適化

ルネサス エレクトロニクス株式会社 バッテリー・オプトソリューション事業部

テクニカルマーケティング・マネージャ Zhigang Liang

シニア・アプリケーション・エンジニア Ashwini Ravindran

アプリケーション・エンジニア・マネージャ Sungkeun Lim

プロダクトマーケティング・マネージャ Starry Tsai

2018年10月

## 概要

最近、モバイル・コンピュータに USB-C ポートを付け、システムの最適化を図る方法が注目されています。これは、USB-C ポートを使って内蔵バッテリーを充電する方法が新しい動向だということです。このドキュメントでは、まず従来型 USB-C NVDC (Narrow Voltage Direct Charging) バックブースト・チャージャのトポロジについて説明し、その長所・短所から USB-C ポートが普及する理由について解説します。次に、NVDC と新機能である HPBB (Hybrid Power Buck-Boost) モードでも動作可能なルネサスのコンボ・バッテリーチャージャ・ソリューションについて説明します。

## はじめに

USB-C インタフェースは、特にモバイル・コンピュータなどの電子機器を充電する方法に革命をもたらしています。従来のラップトップやノート PC などのモバイル・コンピュータには、付属の電源アダプタ用に専用の多くは独自仕様のコネクタが付いています。コンピュータに搭載されているバッテリー・チャージャは、電源アダプタがこの専用コネクタに接続されているときに内蔵バッテリーの充電を行い、同時にシステムへの電源供給を行っています。最近、一部のモバイル・コンピュータ・メーカーは、新規格の USB Type-C (USB-C) あるいは USB PD (USB Power Delivery) プロトコルをサポートする USB ポートの導入を始めました。USB-C は、従来型 USB インタフェースよりもはるかに高機能な双方向電力制御方式をサポートしています。例えば、USB-C ポートコントローラは、接続されているデバイスと通信して、デフォルト 5V のポート電圧を 12V や 20V への引き上げや、あるいは相互に対応可能な別の電圧や電流値に変更することが可能です。USB-C ポートが供給できる最大電圧は、5 A 供給時に 20 V です。これは 100 W の電力になりますから、モバイル・コンピュータ 1 台を充電するのに十分な出力です。その結果、USB-C ポートを利用したモバイル・コンピュータの充電方法は、従来の専用・独自の電源アダプタによる充電方法よりも歓迎される傾向にあります。

## USB-C バックブースト NVDC チャージャ・トポロジ

新規格の USB-C プロトコルは、バッテリー充電システムに対してより広範囲でかつ可変可能な入力電圧 ( $V_{in}$ ) をサポートします。これは、バッテリーパックの電圧やシステムバス電圧よりも低い電圧あるいは高い電圧が供給されることとなります。したがって、昇降圧対応可能なバックブースト・コンバータが最も有利な選択になります。図 1 は、従来の NVDC 型 4 スイッチ・バックブースト・チャージャ・トポロジの概略図です。この NVDC チャージャは、バックブースト・コンバータを形成する 4 つのスイッチング FET と、バッテリーとシステム電源バス ( $V_{sys}$ ) 間にある 1 つの BFET で構成されています。バックブースト・コンバータ入力は、AC ソケットにさして使用する専用 AC / DC アダプタまたは USB-C ポートとなります。

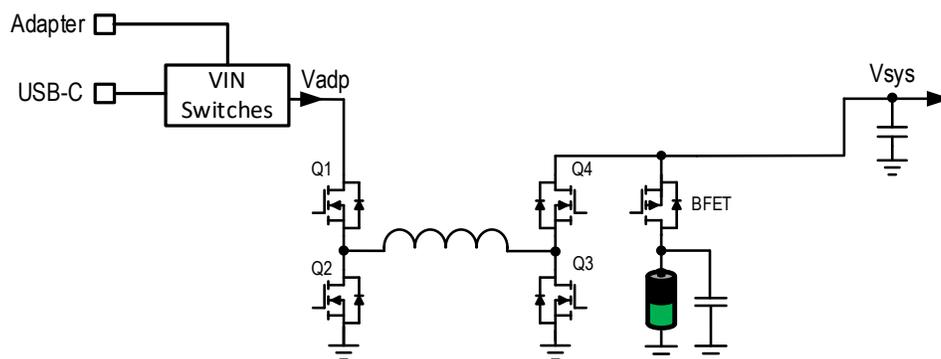


図 1. USB-C 対応の従来型 NVDC バックブースト・チャージャ・トポロジ

図 2 は、入力電源が存在するときの電力経路を示しています。このモードには 3 つの動作が存在します：

- i. バッテリーが完全に充電されると、バックブースト・チャージは BFET をオフにし、そしてシステムが必要とする電圧 ( $V_{sys}$ ) にレギュレートして電力を供給します。
- ii. バッテリーがフル充電状態でなく、バックブースト・チャージャがバッテリーを充電している場合は、BFET はオンになります。トリクル・チャージモードでは、BFET は飽和領域で動作します。これは、ちょうどリニアレギュレータ (LDO) のような動作になり、そして  $V_{sys}$  は目標電圧にレギュレートされます。BFET が完全にオン状態で、チャージャが CC モードまたは CV モードになっている場合、 $V_{sys}$  は  $V_{bat}$  に等しくなります (BFET による電圧降下がないと仮定)。  
入力電力 = システム電力 + バッテリー充電電力、ここで 入力電力 > システム電力 と仮定。
- iii. バッテリーの充電状態と無関係に「システム電力 > 入力電力」状態になると、すぐに  $V_{sys}$  は電圧低下を始めます。通常 BFET のボディダイオードは、「 $V_{sys} < V_{bat} - V_{drop}$ 」の状態です。ここで、 $V_{drop}$  はボディダイオードの電圧降下分 0.7V (Typ.) です。より高機能な制御機構があれば、 $V_{sys}$  の電圧降下をもっと早い段階で検知して BFET をオンできます。いずれにしてもバッテリーは放電状態になり、バッテリー電力はシステムに電力を供給するために入力電力を補います。

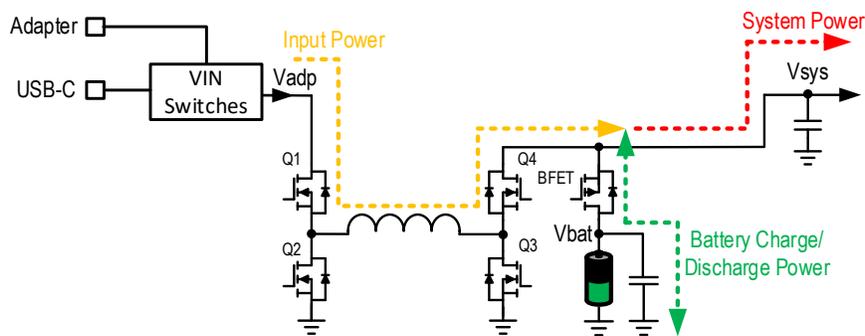


図 2. 入力電力と NVDC バックブースト・チャージャの給電経路

図 3 は、バッテリーのみのモードの給電経路を示しています。このモードは、前のモードよりも比較的簡単な動作で、BFET が強制的にオンになり、バッテリーが常に電力を供給します。このモードでは、Vsys は Vbat と同電位の状態です。

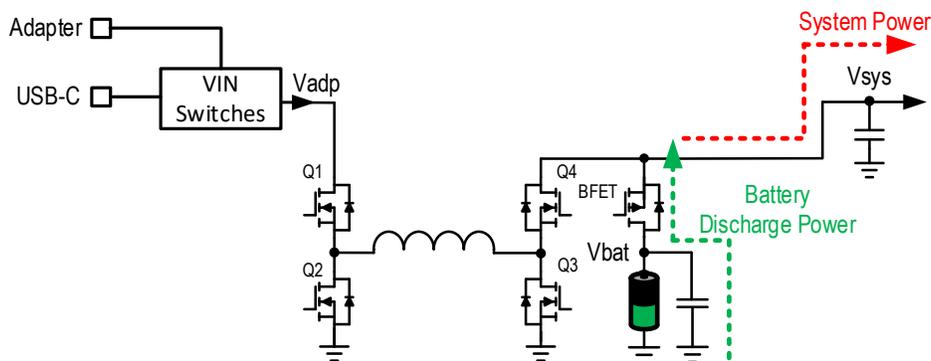


図 3. バッテリー単独モードでの NVDC バックブースト・チャージャ給電経路

NVDC 構成の場合、代表的なデメリットの 1 つが、すべての電力がバックブースト・チャージャを通過するので、MOSFET のスイッチング損失と導通損失、インダクタのコア損失と銅損失などの電力損失が避けられないことです。パワーインダクタは、システムとバッテリー充電の両方の電力に対応する必要があります。このため、インダクタのサイズはどうしても大きくなってしまいます。したがって、NVDC 構成のチャージャは、例えば 60W 以下といった低電力動作のシステムに向いています。ただ、NVDC 構成の利点は、制御方式が単純であることです。システム電力が、アダプタ電力よりも高くなりターボモードに入った場合でも、チャージャはアダプタの電流制御以外、何も制御する必要はありません。バッテリーは自然に BFET を介して放電し、システムを自動的にサポートします。

## ルネサス新型ハイブリッド・パワー・バックブースト（HPBB）構成

図4は、新しいHPBBバッテリー・チャージャの構成を示しています。このモードでは、入力電力はバックブースト・チャージャを経由するのではなくバイパス FET を通過します。したがって、電力損失は NVDC モードに比べて大幅に低減されます。そしてチャージャは、バッテリーの充放電電力のみに対応すればよいので、インダクタを大きくする必要はありません。

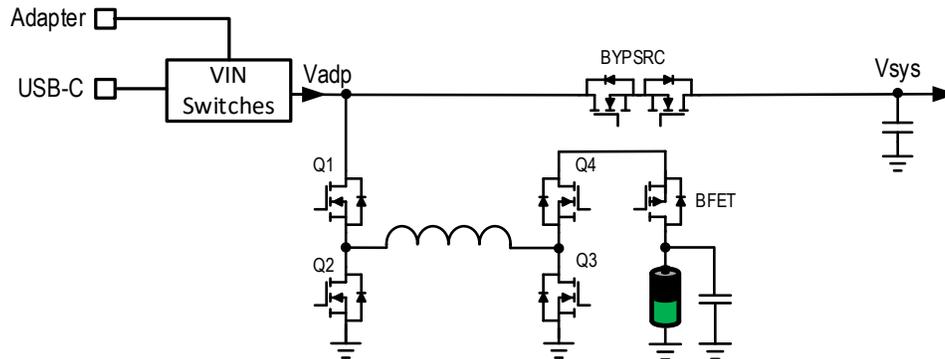


図4. ルネサスのHPBBチャージャの構成

入力電力がある場合、このモードには2つの動作が存在します：

- i. 入力電力 > システム電力の場合：この条件が満たされる場合、バックブースト・バッテリーチャージャはシステムに電力を供給しません。（バイパス FET を介して、システムに電力を供給します。） バッテリーパックが完全に充電されている場合は、バックブースト・チャージャはスタンバイモードになり、そうでない場合はバッテリーパックを充電します。図5に、この場合のHPBBモードでの給電経路を示します。

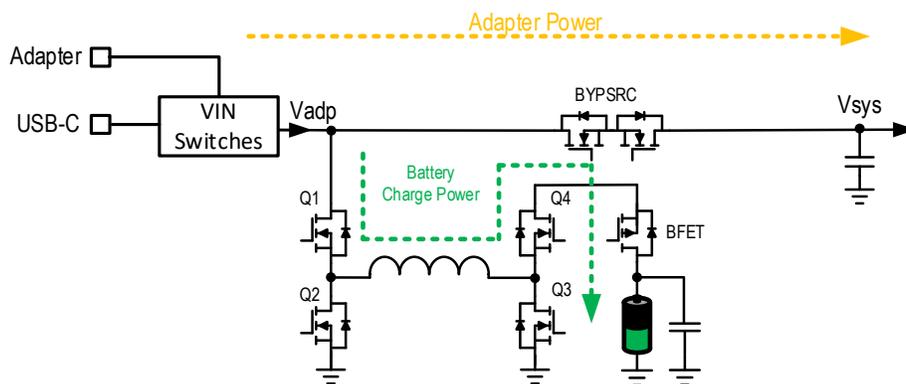


図5. ルネサスHPBBチャージャの構成

- ii. 入力電力 < システム電力の場合：バッテリーから  $V_{adp}$  側に電力をポンプアップする必要があるため、バックブースト・チャージャはリバース・モードで動作し、バッテリーを放電します。バッテリー電力は入力電力と組み合わせられ、システムの電力をサポートします。このモードは「リバース・ターボブースト」モードとも呼ばれます。図 6 は HPBB モードでのその給電経路を示しています。

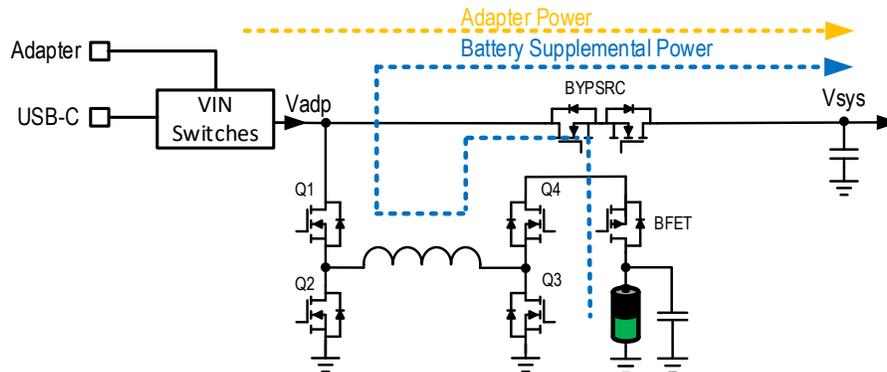


図 6. ルネサス HPBB チャージャ：リバース・ターボブースト・モード

## ルネサス ISL9241 「コンボ」バックブースト・バッテリー・チャージャの紹介

ISL9241 は、ルネサスの最新のバックブースト・チャージャ製品です。業界で唯一 NVDC と HPBB の両方の構成をサポートする USB-C に対応したバックブースト・チャージャとなります。

NVDC モードでは、ISL9241 はシステム電源に電源アダプタおよび（または）バッテリーを自動選択します。さらに ISL9241 がターボモード状態の場合は、アダプタの給電限界電流設定値を超えないようにアダプタ電流が制限され、同時に BGATE FET をオンにすることによってバッテリー電力をシステム側に供給します。

HPBB モードでは、ISL9241 はバイパス、バイパス+充電、リバース・ターボブースト・モードなどをサポートしています。

ISL9241 は、HPBB と NVDC の両方の構成をサポートすることで、お客様の設計に柔軟性をもたらし、システム性能を最適化します。これらの 2 つのモードは、AC / DC アダプタや USB-PD ポートからの入力など、電源の仕様に合わせて、エンベデッドコントローラ(EC)のファームウェアによって構成の変更が可能です。

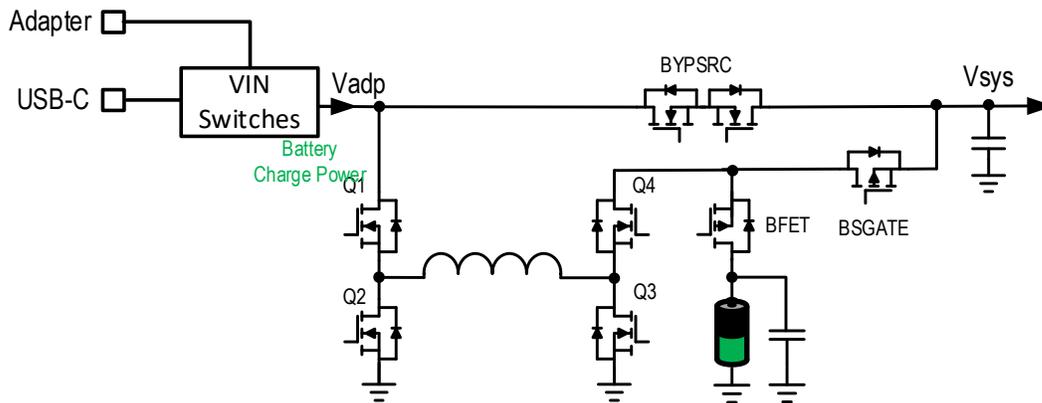


図 7. NVDC と HPBB の両方の構成をサポートする ISL9241 コンボ・バックブースト・チャージャ

ISL9241 は、電力効率と BOM コストの最適化のために NFET のみを使用して、充電機能、システム・バス・レギュレーション、および保護機能をサポートします。そして、最先端の Renesas R3™テクノロジーを使用することで、軽負荷時高効率のチャージングを実現します。さらに、内部レジスタの設定で HPBB モードとすることで、より小さいインダクタを使用することが可能です。それによって、複数の電力レベルにおいてより高い効率を実現できます。

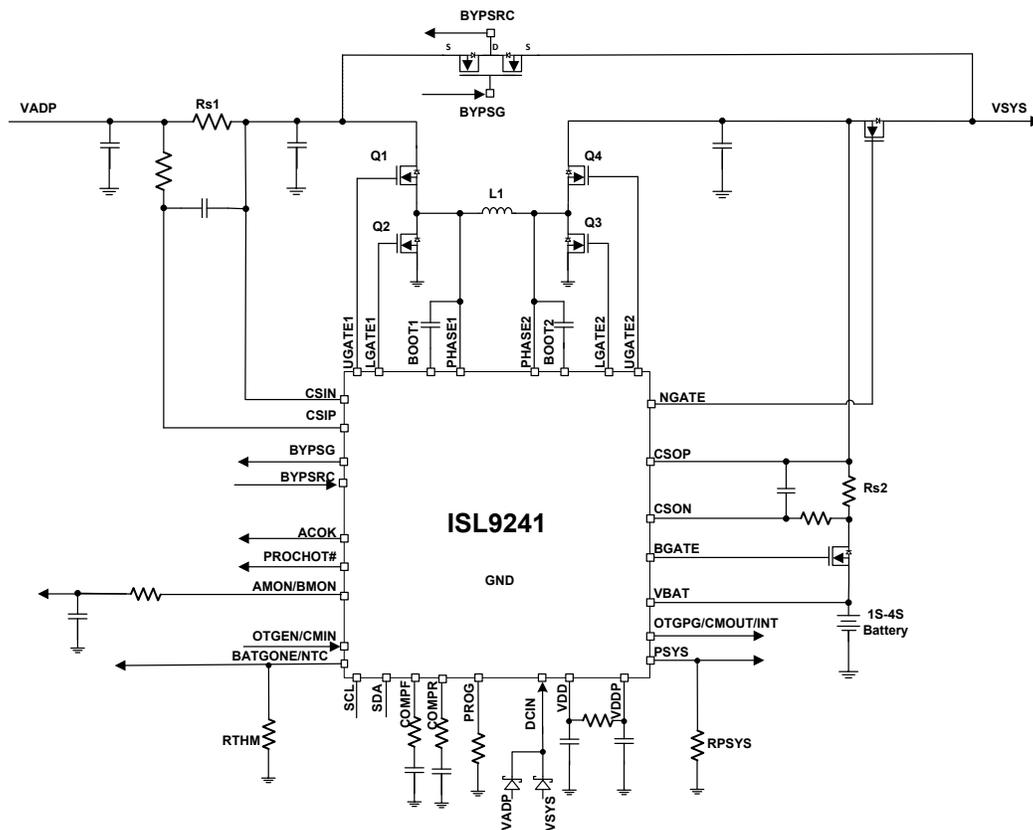


図 8. ISL9241 コンボ・バックブースト・チャージャの標準回路例

---

ISL9241 は、従来のアダプタ、旅行用アダプタ、USB-C 電源ポートなどの多様な DC 電源からの電力が入力可能で、最大 4 セルの Li-ion バッテリーのバッテリーパックを安全に充電可能です。ISL9241 は、オートノマス・チャージ(自律充電)及びエンド・オブ・チャージ(自動充電完了)もサポートしています。HPBB のバイパスモードはエンベデッドコントローラ(EC)のファームウェアを使用し、電源アダプタがシステムに直接給電できるようにすることも可能です。

ISL9241 は、2~4 セル・バッテリーのバッテリーパックから、アダプタ・ポートへのリバース・バック、リバース・ブースト、またはリバース・バックブーストでの給電 (OTG モード) をサポートしています。これにより、USB-C PD (Power Delivery) を利用することで、PPS モード(Programmable Power Supply)を構成することができます。また、ISL9241 はバッテリーのみ、アダプタのみ、または両方を接続して動作させることが可能です。そして、システムへの電力をアダプタ、バッテリー、または両方の組み合わせから供給できます。インテル IMVP 準拠のシステムの場合、ISL9241 には、システム全体の電力を示すアナログ信号を出力するシステム電力 (PSYS) モニタ機能が含まれています。PSYS 出力は、広範囲の IMVP コアレギュレータに接続し、IMVP 準拠のパワードメイン機能を提供します。ISL9241 はプロセッサ・ホット (PROCHOT#) モニタも備えており、また、バッテリー電圧を定義された最小電圧レベル以上に保つことによりインテルの Vmin アダプティブ・プロテクション (VAP) 要件を満たすサブリメンタル・モードをサポートしています。ISL9241 のシリアル通信は SMBus I<sup>2</sup>C に準拠し、多くのキー・パラメータのプログラミングが可能で、カスタム・ソリューションの提供が可能となります。

ISL9241 は常時システムの動作をモニタリングし、インタラプト機能を使ってフォルト/ワーニングステータスを出力します。ISL9241 の内蔵 8 ビット ADC は、温度 (プリント基板およびジャンクション)、アダプタの電流/電圧、バッテリーの充電/放電電流、およびシステムバス電圧などのシステムパラメータの測定(テレメトリ)を可能にします。

ISL9241 の再構成可能な充電アーキテクチャにより、ユーザーはシステムの設計要件に対応できるように、マルチポート構成の充電器に柔軟に使用可能です。ISL9241 はマルチポート USB-C をサポートしており、USB-PD 3.0 規格に 100%準拠のマルチポート USB-C 対応のユーザー・システムを構築可能です。

ISL9241 の入力電圧範囲は 3.9V~23.4V、出力電圧範囲は 3.9V~18.304V(2~4 セルバッテリーパックに対応)、OTG の場合は 20 V 出力まで対応します。そして、エンベデッドコントローラ (EC) との通信なしでオートノマス・チャージ(自律充電)及びエンド・オブ・チャージ(自動充電完了)が可能です。また、オート・センシングによって、バッテリーが消耗したときにトリクルチャージングモードに入ることができます。さらに、2 レベルのアダプター・カレント・リミット値の設定可能です。加えて、バッテリー学習モードでは、フューエル・ゲージ IC によるキャリブレーションを実施することが可能です。SMBus または I<sup>2</sup>C インタフェースを使用したプログラムにより、ユーザーは柔軟にパラメータ設定を行うことができます。

## ルネサスが提供するデザインツール

### 評価用ボードとユーザーガイド

ISL9241 には、評価ボードと詳細なユーザーガイドが用意されていますので、ユーザーはすぐにテストや評価を開始することができます。評価ボードの写真を図 9 に示します。

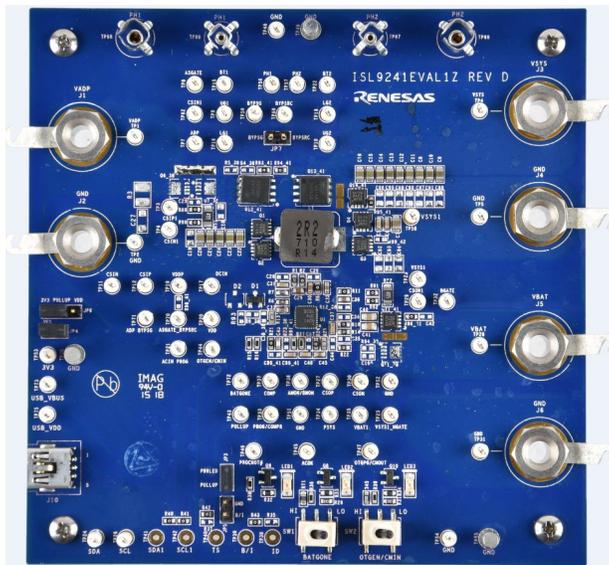


図 9. ISL9241 評価ボード

### ISL9241 GUI ソフトウェア

ルネサスが提供する ISL9241 GUI ソフトウェアを使うことにより、バッテリー・チャージャの設計、テスト、ファイナライズ、およびデバッグを迅速に行うことができます。このソフトは PC 経由で評価ボードに接続されていますので、ボード上の ISL9241 のさまざまなシステムパラメータやしきい値を簡単に設定することが可能です。図 10 に、ISL9241 GUI の設定画面を示します。

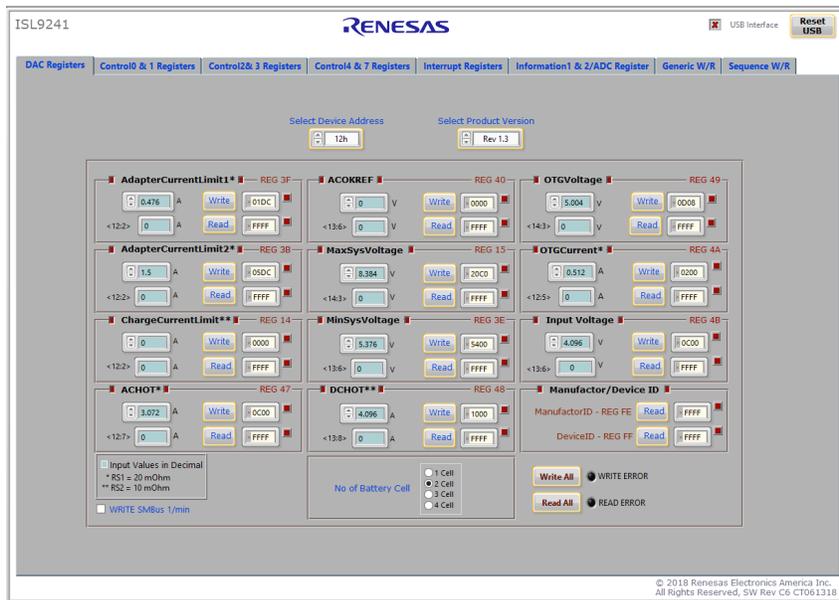


図 10. ISL9241 GUI のスクリーンショット

---

## その他のリソース

ルネサスがバッテリー・チャージャ設計用に提供しているその他のオンラインリソースについては下記を参照ください：

<https://www.renesas.com/products/power-management/battery-management-systems/multiple-cell-battery-chargers.html>

## 結論

このホワイトペーパーでは、ノートブック PC などのコンシューマ向けモバイル・コンピュータに向けた、今日のバッテリー充電トポロジと動作原理について解説しました。バッテリー・チャージャは、バッテリーパックを充電するだけでなく、アダプタからシステムまでの全電力フローを管理しており、モバイル・システムの電力管理において重要な構成要素となっています。また、システムの電力需要を効率的にサポートするために、エンベデッドコントローラ (EC) などのシステム管理デバイスとシームレスに動作することが求められます。ISL9241 は、NVDC と HPBB の両方の構成を提供することで柔軟性を高めており、これらの 2 つのモードを選択することでバッテリー・チャージャの設計を最適化できます。ISL9241 のレジスタマップは、ISL9238 といった他のルネサスの既存製品と互換性があるので、こういった製品を使ったバッテリー・チャージャ構成から ISL9241 を使用した設計に移行する場合、その開発リソースを大幅に削減することが可能です。さらに、ISL9241 を HPBB モードで動作させる場合、エンベデッドコントローラ (EC) 上の NVDC モードのファームウェアを一部修正することで対応でき、複数のコンピュータ・プラットフォームで ISL9241 を使用するとき、その開発と認定の手間を大幅に軽減できます。

©2018 ルネサス エレクトロニクスアメリカ社 (REA) が著作権を所有。すべての商標および商号は、それぞれの所有者のものです。REA は、ここに記載されている情報は、与えられたときに正確であったと考えていますが、その品質や使用に関してはリスクはないと考えています。すべての情報は、商品性、特定の目的への適合性、非侵害性などを問わず、明示的、黙示的、法的、または取引、使用方法、または貿易実務から生じるいかなる保証もなく、現状のまま提供されます。REA は、たとえそのような損害の可能性について知らされていたとしても、ここに記載された情報の使用または信頼に起因する直接的、間接的、特別、派生的、付随的、またはその他の損害について一切の責任を負うものではありません。REA は、予告なしに製品を中止したり、製品の設計または仕様またはそ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。ルネサスエレクトロニクス社の事前の書面による許可なく、本資料のいかなる部分も複製、転載することはできません。お客様またはユーザーは、この資料のいずれかの公的または商業目的での修正、配布、公開、送信、または派生物の作成を許可されていません。