

## はじめに

スマート・フォン、ポータブル全地球測位システム、メディア・プレーヤーなどの単一セルのリチウム・イオン・バッテリーから電源が供給されるアプリケーションでは、充電コントロールとバッテリー・パック・セル保護の2つのバッテリー・マネージメント機能があらゆるシステム構成に存在していなければなりません。充電コントロールは充電式バッテリーを迅速に、かつ安全に充電し、一方、リチウム・イオン保護はバッテリー・パックのセルを安全な電圧範囲で動作させ、また、それを短絡または過電流状態から保護します。バッテリーの残量計測とバッテリー・パックの認証という2つの追加機能が単一セルのリチウム・イオン・アプリケーションにおける基本的なシステム要求仕様として急速に浮上してきています。総合的バッテリー残量計集積回路 (IC) は、電圧、温度、充放電電流、残量予測などのバッテリー・パックについての多くの重要な情報を測定し報告するマイクロコントローラです。バッテリー残量計測技術の新たな進歩がこれらの計測を可能とし、全4つのバッテリー・マネージメント機能の実行を高性能、経済的、柔軟な方法で促進する新たなバッテリー・マネージメント・アーキテクチャの基盤となるよう、すべての重要なバッテリー電源情報についての情報源として機能します。

# Impedance Track™ に基づく 残量計測

## 単一セルのリチウム・イオン・アプリケーション用新型バッテリー・マネージメント・アーキテクチャを可能化

### 4つの主要バッテリー・マネージメント機能

図1に交換可能なバッテリー・パックを組み込んだシステムにおける充電コントロール、保護、認証、残量計測の4つの主要なバッテリー・マネージメント機能を示します。

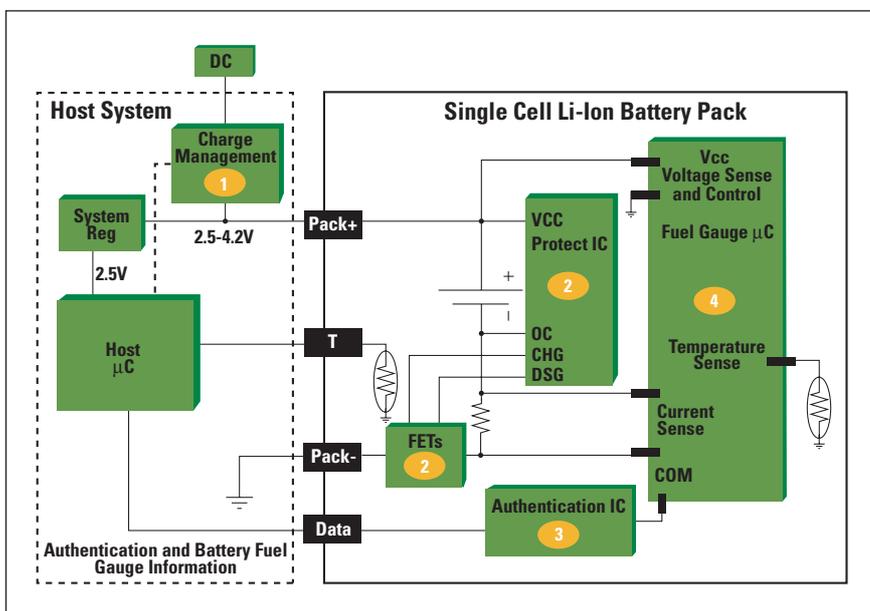


図1. バッテリー・マネージメントの4つの基本機能：1.充電コントロール 2.リチウム・イオンの保護 3.バッテリー・パックの認証 4.バッテリー残量計測

- 1. 充電コントロール** — 充電コントロールはリチウム・イオン・セルを充電するための適切な電力変換やコントロール技術を提供します。
- 2. 保護** — リチウム・イオン・セルの主たる保護はバッテリー・パックにあり、セルを過電圧、低電圧、過電流状態から保護します。
- 3. 認証** — 単一セルのハンドヘルド市場の多くの大量生産品分野で強まりつつある傾向とは、ホスト・システムに接続されているバッテリー・パック、その他の付属品、周辺装置を認証または有効にすることです。認証は主にエンド・ユーザーの性能仕様や期待値を満足させるために、その接続装置がホスト・システムに適合していることを確実にします。バッテリーの場合、認証にとっての重要な要因の1つはホスト・システムとの相互運用の能力です。安全で信頼性のある動作を行うには、単一セルのリチウム・イオン・バッテリーはシステムの充放電特性に適合していることが必要です。図2に代表的な認証プロセスの概要を示します。

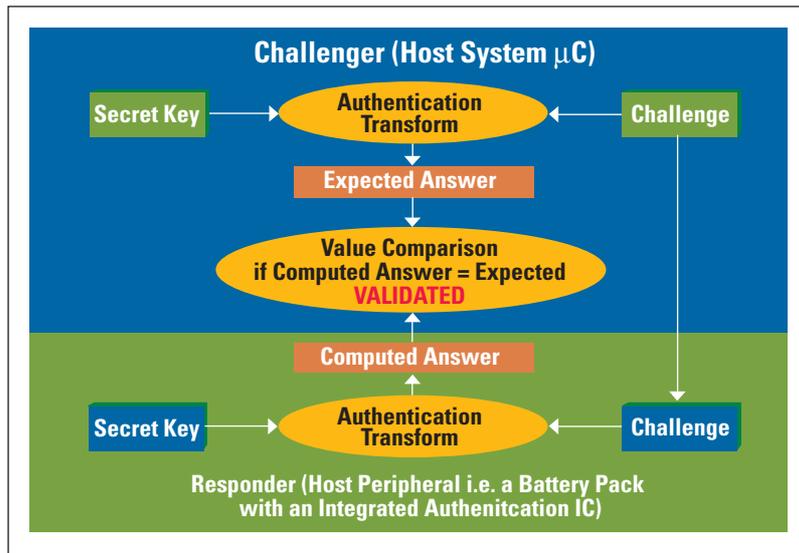


図2. 認証プロセス

**4. バッテリー残量計測** — バッテリーの残量計測機能は残量を追跡し、バッテリー・パックの他の重要なパラメータを測定します。バッテリー残量計は概して保護ICと同様にバッテリー・パックにあります。システムのホスト・プロセッサはバッテリーの情報を得るため簡素な1線または2線式の通信ポートによりバッテリー残量計に問い合わせをします。よって、ホスト・プロセッサは可能な限り最善の方法でシステムのリソースや周辺装置を管理するのに必要な情報をもつこととなります。システムは、ユーザーに妥当な性能レベルを供給すると同時に、バッテリーからすべての使用可能な容量を取り出し、できるだけ稼働時間を延ばすことができます。

**バッテリー残量計の基礎** **基本レジスタ** — 総合的バッテリー残量計は一般的に最小限次のレジスタ・セットをもっています。

バッテリー残量計から報告された情報	内 容
電圧 (V)	バッテリー・パックの電圧 (V)
温度 (T)	バッテリー・パックの温度 (K)
電流 (C)	瞬時充放電電流 (mA)
平均電流 (AC)	20-30秒間の平均電流 (mA)
残容量 (RM)	バッテリーの残容量 (mAh)、すなわち、タンク内に残っている量で、 $RM = RSOC * FCC$
満充電容量 (FCC)	バッテリーの放電容量 (mAh)、すなわち、タンクの大きさ
残容量比率 (RSOC)	満充電容量に対する残容量比率、 $RSOC = RM / FCC$
空になるまでの稼働時間 (RTTE)	バッテリーが空になるまでの時間 (分)、 $RTTE = RM / AC$

**残量計測の正確性への鍵** — 有効となるよう、バッテリー残量計測は正確でなければなりません。アナログの測定性能とバッテリーの特性モデル化の2つの基本要素が正確なバッテリーの残量計測には不可欠です。バッテリー・パックの基本情報を計算するには、バッテリー残量計は充放電量、バッテリー・パックの電圧、温度を測定する必要があります。純粋にクーロン・カウントするバッテリー残量計、すなわち充電量を決めるのに主に充放電の積分に依存するバッテリー残量計では、A/Dコンバータの分解能と精度がもっとも重要です。このタイプの残量計を用いる場合、コンバータはシステムがスリープ、スタンバイ、オフ状態にある時に生じる量を含むすべての動作時の充放電量を積分しなければなりません。例えば、システムの通常動作時の放電電流が0.2~1Aであるのに対し、オフ状態の放電電流は10mAより低くなります。システムがオフ状態で放電電流が10mAより低く、残量計が低い放電レベルを正確に積分する範囲をもっていない場合、大きなバッテリー残量計測誤差が時間経過とともに生じることがあります。バッテリー残量計ICに内蔵するの今日のア/Dコンバータは自動補正技術と高い分解能を兼ね備えており、厳しいポータブル・アプリケーションにおいて適切な大きさの検出抵抗を用いて非常に優れた性能を供給します。

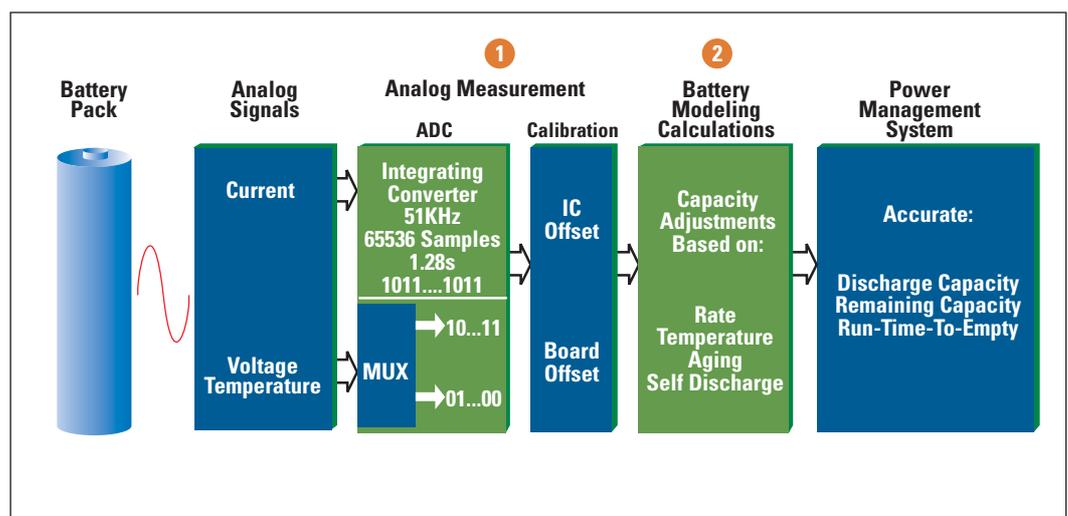


図3. バッテリー残量計の正確性の2つの要素：アナログ測定とバッテリーのモデル化

バッテリー残量計測の正確性についてのもう一方の側面としてバッテリーのモデル化があります。バッテリーはその性能が使用環境により変化するためモデル化することが必要です。グラフ(図4a)は、胡定電圧(3.0V)までの放電容量が、放電レートや温度により、どのように変化するかを示しています。(Cap2対Cap1)。放電容量の変化の重要な変数はバッテリー・セルの内部インピーダンスであり、IRドロップにより放電曲線(電圧対容量)を偏移させます。

残量計測のアルゴリズムは、IRドロップだけでなく自己放電やバッテリーの経年変化（使用に伴うバッテリーのインピーダンスの増加を含む）などの他の特性も含んでいなければなりません。自己放電とは外部負荷が無い状態において、バッテリー残量が減少することであり、温度に大きく依存します。経年変化はバッテリーの使用方法、または“サイクル”によって、時間経過とともに固定電圧までの放電容量が減少してしまう“消耗”現象です（図4b 参照）。バッテリー残量計は正確で意味のある予測値を計算するためインピーダンスやインピーダンスの変化を含まなければなりません。

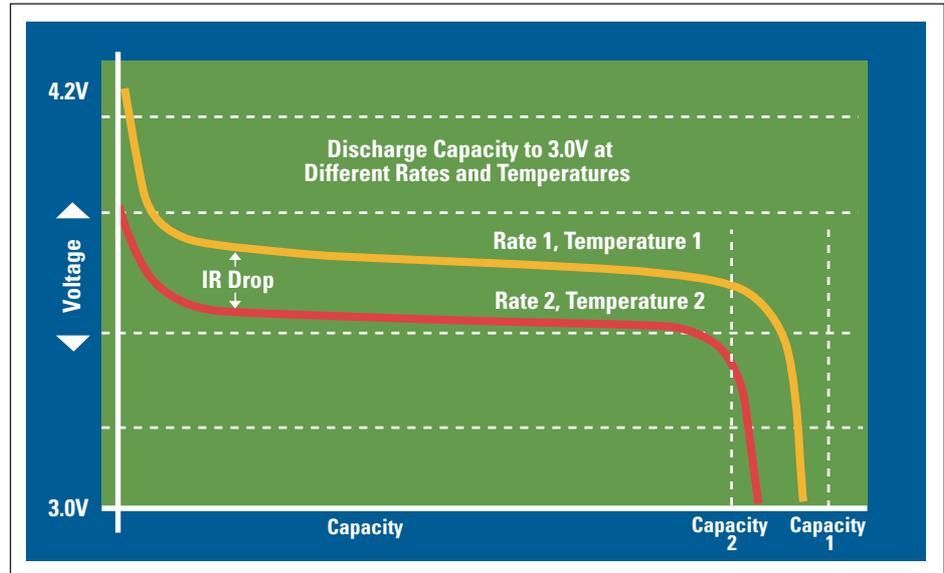


図4a. 放電レートと温度に依存するバッテリー放電容量

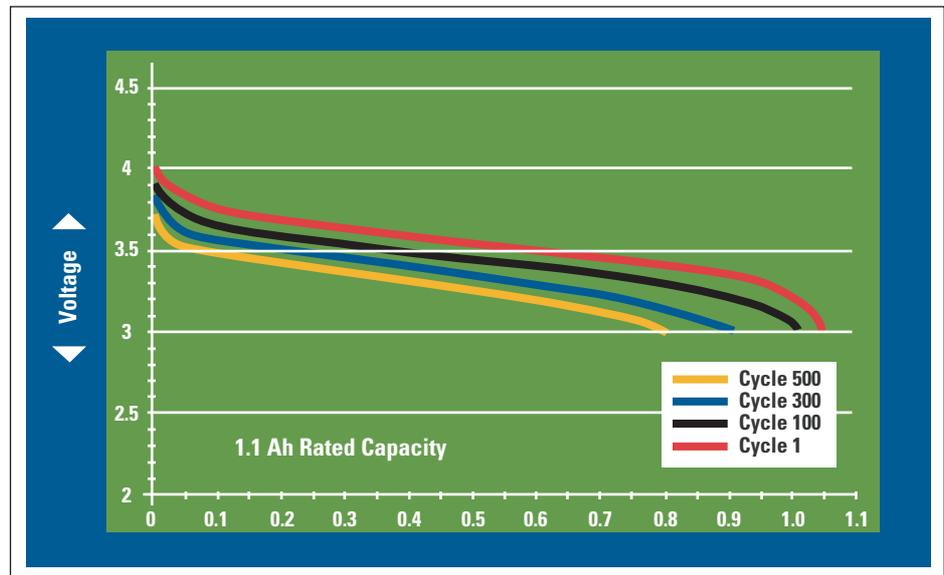


図4b. 使用されたバッテリーの経年変化（インピーダンス増加）の影響によるバッテリー放電容量

**Impedance Trackによる残量計測** — インピーダンスに基づくバッテリー残量計測は、その名前が意味しているように、残量予測への鍵となる情報としてバッテリーのセルの測定インピーダンスを使用します。残量計はバッテリー・パックの抵抗を充電量の関数としてリアルタイムで測定し保存します。リアルタイムの抵抗プロファイルと保存されているバッテリーのオープン回路電圧表(オープン回路電圧対充電量)により、残量計はシステムの使用条件や温度の下でバッテリー・パックの放電曲線を予測(IRドロップを調整することにより)することができます。このアルゴリズムは、残りの充電量(RSOC)を予測充電曲線の上下に調整するためシステムがオン時には、電流積分法(クーロン・カウント)を、システムがオフまたはスリープ・モードの時はオープン回路電圧測定法を用います。予測放電曲線を用いることにより、残量計はバッテリー・パックの残量(RM)と空になるまでのシステムの稼動時間(RTTE)を正確に計算することができます。

Impedance Track技術による残量計はインピーダンスとインピーダンスの変化に応じて絶えずRMとFCCを調整するため、レートと温度の非効率性と経年変化が本質的に配慮され、残量計はシステムの寿命全体を通じて高水準の精度を維持することができます。

正確性と予測可能性のほかに、インピーダンスに基づくバッテリー残量計の重要な利点は残量計が単一セルのリチウム・イオン・アプリケーションにおいて、また交換可能なバッテリー・パックをもつシステムにおいても、システムのメイン・ボード(バッテリー・パックの反対側)に置くことができます。残量計をシステム・ボードに統合すること(“システム側”の残量計)により、重要なバッテリー・マネージメント機能のための新たなアーキテクチャが可能になります。

**交換可能な  
バッテリー・パックを  
もつ単一セルの  
アプリケーションでの  
新型バッテリー・  
マネージメント・アーキテクチャ**

**バッテリー・パックに組み込まれた残量計** — 交換可能なバッテリー・パックをもつ単一セルのシステムでは、バッテリー残量計は残量計が常時バッテリーと同期状態にあるよう通常はパックに組み込まれています。つまり、残量計は外部充電器、自己放電、経年変化から充放電量を追跡することができます。それはパックがシステムにない時でも可能です。この方法では、残量計の情報は現状のまま保持され、パックがシステムに戻された時が正確に補正されます。

**新型アーキテクチャ：交換可能なバッテリー・パックをもつシステムのホスト側での残量計測** — TIのImpedance Track™技術によるバッテリー残量計測はバッテリー・パックがユーザーにより取り外されたとしても単一セルのアプリケーションにおいてバッテリー残量計をシステムのホスト側に置くことができます。Impedance Trackのアルゴリズムは、専用のバッテリー挿入“アービトレイション”アルゴリズムと組み合わさって、パックを取り外したことで発生する問題を軽減します。ホスト側にこの機能を提供する2つのデバイスはbq27500とbq27501です。

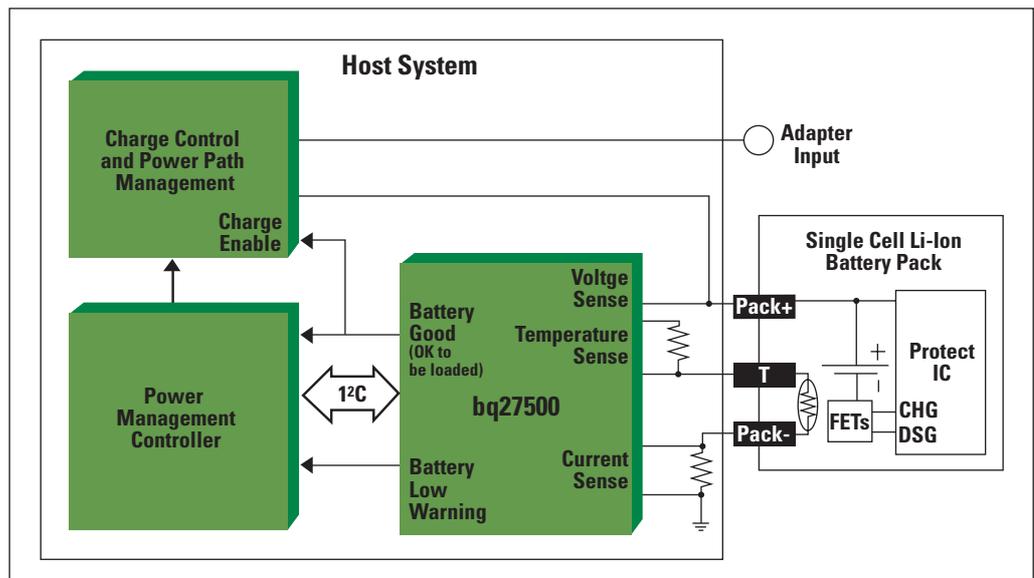


図5. Impedance Trackによる新型バッテリー・マネージメント・アーキテクチャの実現：bq27500を用いたホスト側（システム側）でのバッテリー残量計測

**ホスト側の基本動作** — bq27500/501はデフォルトのバッテリー・プロファイルをオンチップのフラッシュ・メモリに保存しています。デフォルトのプロファイルはオープン回路電圧表、抵抗プロファイル、バッテリー・パックの低レート放電容量から構成されています。

プロファイルの要素	内容
オープン回路電圧表	オープン回路電圧表はバッテリー・パックのオープン回路電圧対容量の曲線を保存しています。bq27500/501のアルゴリズムは現在のシステムの使用条件下でバッテリー・パックの放電曲線のシミュレーションを行うためこの曲線から抵抗値 (IRドロップ) を差し引きます (レートと温度)。
抵抗プロファイル	抵抗プロファイルは現在の使用条件に基づいてオープン回路電圧曲線を差し引くのに使用される抵抗対充電量の曲線です。
低レート放電容量 (QMAX)	QMAXはバッテリー・パックの低レートまたは理論上の最大放電容量です。この値は全充電容量を導き出すためImpedance Trackアルゴリズムにより再度差し引かれます (現在の使用条件下での固定電圧までの放電容量)

バッテリーが初めてシステムに挿入される時、bq27500/501はプログラムされているデフォルトのプロファイルをチップ上の別のフラッシュの記憶領域にコピーし、特有のセル・プロファイルを生成します。このセル・プロファイルは、コピーされたオープン回路電圧表、抵抗プロファイル、QMAXから構成されています。次に、bq27500/501は通常動作モード時にセル・プロファイルの抵抗プロファイルとQMAXを更新し、放電曲線のシミュレーションを実行するためこのセル・プロファイルを使用します。バッテリー・パッ

クがシステムにとどまっている限り、bq27500/501は生成されたセル・プロファイルをその残量計測の基準として用います。バッテリー・パックが取り外されその後挿入されるか、または、新たなバッテリーが挿入された場合、bq27500/501のアービトレイション・アルゴリズムは挿入されたバッテリー・パックの測定特性とデフォルトのプロファイル及び前に生成したセル・プロファイルと比較し、バッテリー・パックの特性にもっとも密接に一致したプロファイルを選択します。

bq27500は1つのデフォルトのプロファイル(サポートされている1つの化学物性に対し)を保存し、最大2つのセル・プロファイルを生成することができます。bq27501は2つのデフォルトのプロファイル(サポートされている2つの化学物性に対し)を保存し、最大2つのセル・プロファイルを生成することができます。bq27501はバッテリー・パックが挿入された時バッテリー・パックのID抵抗を測定し、パックの抵抗値に割り当てられたプロファイルを選択します。

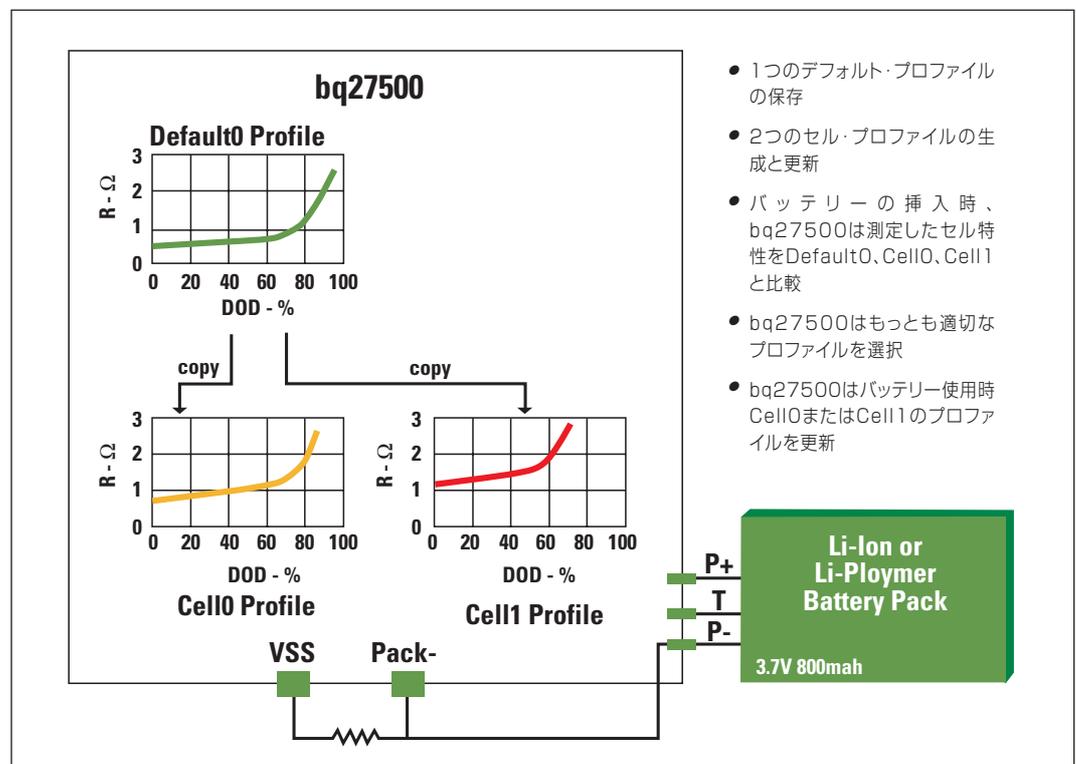


図6. バッテリー・パック挿入時のbq27500 “アービトレイション” 方法

#### システム側での残量計測の利点：

1. 正確な残量計をシステムに付加することができ、バッテリー・パックを再設計することはありません。Impedance Trackの残量計はシステムに置くことができ、単にバッテリー・パックからのP+端子、P-端子、T端子によりバッテリー・パックを測定します。この方法により、システムが残量計の有無にかかわらず同じバッテリーを使用することができます。

2. 単一セルのリチウム・イオン・アプリケーションやバッテリー・パックが小型化し続けるにつれ、単一セルのパックに電子回路を組み込むことはますます困難になっています。これらのアプリケーションでほとんどのバッテリーの残量計は物理的に小さいとはいえ、バッテリー・パック内に収めなければならないPCBと対比してもさらにたやすくシステム・ボードに収まります。
3. さらに、システム側の残量計はバッテリー・パックの端子でバッテリーを検知します。これは、まさにシステムが行うのと同様ですが、直接セルに対してではなく、あたかもバッテリー・パックに組み込まれているかのようです。この構成では、Impedance Trackのバッテリー残量計は接触抵抗や消耗、またはセルとシステム入力の端子間での他のインピーダンスを補正することができます。
4. システム側のバッテリー残量計を用いると、残量計は単一セルのアプリケーションでの充電コントロールやバッテリー・パックの認証などの他の主要なバッテリー・マネージメント機能のコントロールや管理を行うことができます。いろいろな意味で、このバッテリー残量計はバッテリーの状態についての多様な情報が得られるためこのことを行うのにもっとも有利です。

#### 次世代アーキテクチャ：単一セルのリチウム・イオン・システムでのシステム上のバッテリー・マネージメント・コントロール・ユニット

図7にシステム側のバッテリー残量計が単一セル・アプリケーションにおいて新たな次世代バッテリー・マネージメント・アーキテクチャの基盤を築いていることを示しています。このアーキテクチャではコストを最小限に抑えるため機能的な冗長性が取り除かれています。例えば、残量計はバッテリーを正確に測定するだけでなく、充電をコントロール（電力変換や充電プロファイル）し、バッテリー・パックを自動的に認証します。

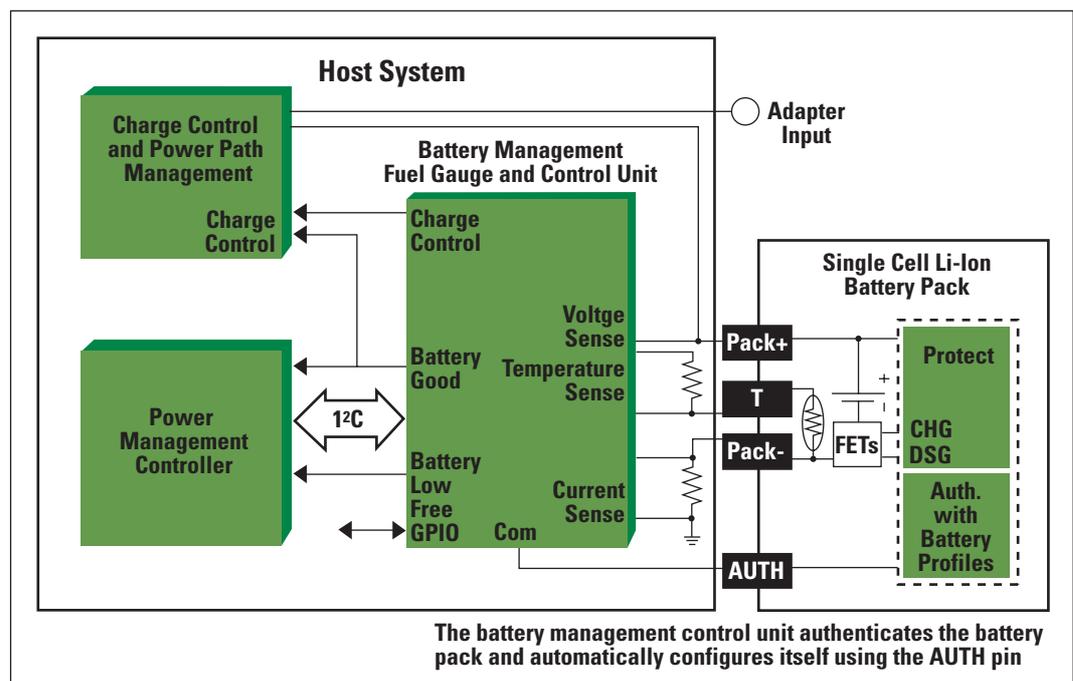


図7. ホスト側の残量計測により可能となる次世代バッテリー・マネージメント・アーキテクチャ

また、バッテリー残量計はバッテリーパックの認証も行います。挿入時、ホストはバッテリーパックを有効にするために残量計にを指示します。その後、残量計はチャレンジキーを発信し、レスポンスを有効にしてホストに結果を送ります。また、認証ICはバッテリーのプロファイルも保存することができ、それはバッテリー・マネージメントとコントロール・ユニットがバッテリーのタイプに応じてImpedance Trackのバッテリー残量計を構成するために使用することができます。

### まとめ

ハンドヘルド・システムがより多くの機能を提供するにつれて、利用可能電力を適切に管理し、システムの動作時間をユーザーに警告し、システムが突発的なシャットダウンを引き起こすことなく、バッテリー電力を一滴残らず使用できるようにすることでできるだけシステムの稼働時間を延ばします。そのために正確な残量計測がより望ましくなっています。また、バッテリーの認証もパック/システム間の適合性を確実にするため望まれます。充電コントロールと保護はすべての単一セルのリチウム・イオン・アプリケーションにとって基本的な要件です。Impedance Trackのバッテリー残量計測技術により、交換可能なバッテリーパックをもつハンドヘルド・システムであってもシステム側での正確なバッテリー残量計測が可能になります。システム側の残量計は4つの基本的なバッテリー・マネージメント機能を分割する新たなバッテリー・マネージメント・アーキテクチャを可能にします。TIのbq27500に基づく新アーキテクチャでは、バッテリー残量計はシステム側に置かれ、正確なバッテリー残量計測のアルゴリズムを組み込み、バッテリーの状態についてパワー・マネージメント・コントローラと充電コントローラに信号を送ります。機能性(例：認証課題)を付加し、冗長性(充電コントローラと残量計による重複測定)を除去することにより、このアーキテクチャを将来的に拡張することでバッテリー・マネージメント機能がさらに最適化されます。新型及び次世代のアーキテクチャを分けて独自の機能をもつことにより、単一セルのリチウム・イオン・アプリケーションにおいてコスト効率が良く簡素なソリューションが実現します。

\* Impedance Trackは、テキサス・インスツルメンツの商標です。  
\* その他、すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。

## 販売特約店 及び 取扱店

<http://www.tij.co.jp/dist/>

### 株式会社 アムスク

〒180-8534 東京都武蔵野市中町1-15-5 三鷹高木ビル  
☎ 0422 (54) 7100 FAX0422 (37) 2549

### 株式会社 日立ハイテクトレーディング

電子デバイス営業本部  
〒105-8418 東京都港区西新橋1-24-14 日製産業ビルディング3階  
☎ 03 (3504) 7921 FAX03 (3504) 7903

### コマツトライリンク株式会社

第2デバイス事業部  
〒105-0004 東京都港区新橋1-16-4 りそな新橋ビル6階  
☎ 03 (5521) 2062 FAX03 (3502) 6301

### 新光商事株式会社

本社 TI販売推進部  
〒141-8540 東京都品川区大崎1-2-2  
アートヴィレッジ大崎セントラルタワー13階  
☎ 03 (6361) 8082 FAX03 (5437) 8486

### 東京エレクトロンデバイス株式会社

インダストリープロダクト1部  
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-17-5  
ベネックス5-2ビル4階  
☎ 045 (474) 5256 FAX045 (474) 5781

### 富士エレクトロニクス株式会社

本社  
〒113-8444 東京都文京区本郷3-2-12 御茶の水センタービル  
☎ 03 (3814) 1411 FAX03 (3814) 1414

### 松下テクノトレーディング株式会社

大阪営業所  
〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-25-13 松下電器江坂ビル  
☎ 06 (6386) 3501 FAX06 (6338) 2382

### 丸文株式会社

デバイスカンパニー 東日本第1本部(東京本社)  
〒103-8577 東京都中央区日本橋大伝馬町8-1  
☎ 03 (3639) 9920 FAX03 (3639) 8156

## 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

### お問い合わせ先

日本TIプロダクト・インフォメーション・センター (PIC)  
URL:<http://www.tij.co.jp/pic/>

### 本社

〒160-8366 東京都新宿区西新宿6-24-1 西新宿三井ビル  
☎ 03 (4331) 2000 (番号案内)

### 西日本ビジネスセンター

〒530-6026 大阪府大阪市北区天満橋1-8-30 OAPオフィスタワー26階  
☎ 06 (6356) 4500 (代)

### 工場

大分県・日出町 / 茨城県・美浦村  
神奈川県・厚木市 (厚木テクノロジー・センター)  
茨城県・つくば市 (筑波テクノロジー・センター)

S-0107

### ご注意:

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいませようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。

