

# リチウムコインセル バッテリー： アプリケーション 寿命の予測

ダラスセミコンダクタ社では、システム電源切断時に不揮発性(NV)メモリまたはリアルタイムクロック(RTC)機能が提供できるように、リチウムコインセルバッテリーを組み込んだ製品を数多く製造しています。これらの製品はシステム電源が切断されている状態で10年間のバッテリー寿命を提供するのが標準仕様となっていました。エンドアプリケーションが明確でないこともあり、保守的な寿命の予測となっています。

エンドユーザは、通常の商業環境の限度を越えるアプリケーション、10年以上の寿命を必要とするアプリケーションなど、具体的なアプリケーションを念頭におき、期待される寿命の評価を出すべきです。コントローラとバッテリーの入ったモジュール製品を購入する代わりに、ディスクリートバッテリーコントローラを購入し、バッテリーと組み合わせることを考えているユーザにとって信頼性モデルを十分に理解することはとても役に立ちます。この論文では、システム電力あるいはバックアップ電源用にリチウムバッテリーを使って電力が供給されている集積回路(IC)の寿命に影響を与える主要因子について概要を述べます。

## なぜ、バッテリーによるバックアップが必要か？

システム電源がオフの状態時のデータ保持に関する代替案がいくつかあります。読み出し書き込みの速度あるいはサイクル数が重要である場合、バッテリーでバックアップされたSRAMは信頼できる代替案です。フラッシュまたはEEPROMもNVデータストレージを提供しますが、容易さや速度が犠牲になります。バッテリーでバックアップされたSRAMの主な欠点は、バッテリーが消耗することです。そのため、製品を選ぶにあたり、エンドプロダクトの寿命を決定するには、バッテリー内で利用できるチャージを考慮する必要があります。システム電源切断時でも時刻を維持しなければならないデバイスは、クリスタル発振器の維持用に電気エネルギーが必要になります。この電流需要はバッテリーによって維持されるのが一番適切です。

## IC電流需要

IC(SRAMまたはRTC)がバッテリー電源の場合、ICの電流需要、期待される寿命、およびバッテリーから利用できるエネルギーを整合する必要があります。ICとバッテリーを購入する場合、IC負荷の関数としてバッテリーの寿命を予測するために必要な情報がデータシートの仕様に記載されています。ICとバッテリーをモジュールとして購入する場合、エンドユーザはモジュールメーカーがシステム寿命の仕様適合を保証するために適切な審査をしていると信用してよいでしょう。

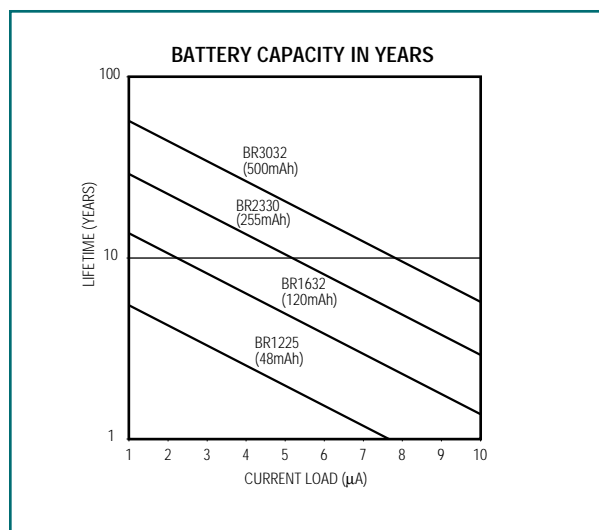


図1. バッテリーから引き出された電流量に基づく寿命

ダラスセミコンダクタ社は、最高10年間の寿命が指定された末端部品を駆動するバッテリー容量をもつバッテリーバックアップ製品すべてに関してスクリーニングの限界を確立しました。ダラスセミコンダクタのICの場合、設計と組み立てプロセスが低電流需要を発生するように最適化されています。外部業者から購入された高密度のSRAMの場合は、モジュール寿命の仕様に適合しているかを保証するためしばしば特殊な審査が必要となります。図1はパナソニックによって報告されたバッテリー容量から作成されたものです。図1の4本の線は最も一般的なサイズのバッテリー(BR1225、BR1632、BR2330、BR3032)を表しています。バッテリーメーカーの定格電気容量(mAhで表示)が各バッテリーサイズについて示されています。

## バッテリーの構造と属性

ダラスセミコンダクタ社は、バッテリーバックアップを必要とするモジュールに1次リチウムコインバッテリーを使用することを選びました。これらのセルバッテリーは、定格電圧3Vで、システム内標準電圧がおよそ2.7Vのため、バックアップ電源として最適です。バッテリー放電中の電圧も安定な状態(図2)なので、寿命末期の時点での電圧は新しいバッテリーを入れた時点の電圧とほぼ同じです。バックアップ電源電圧には平坦な放電曲線が望ましいのですが、一方では残余の電気容量の予測が困難になります。

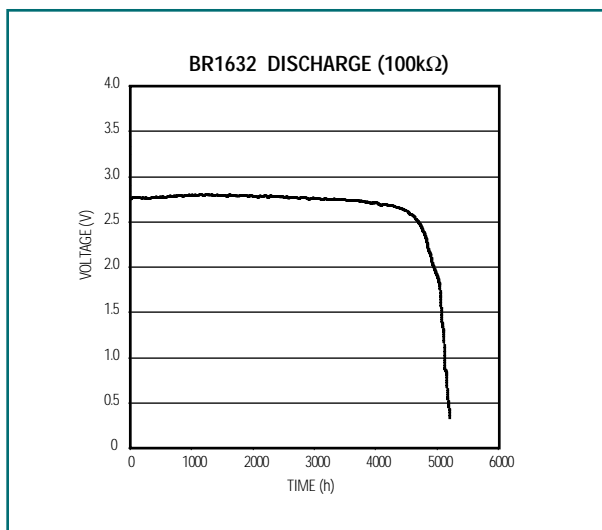


図2 . 出力電圧は放電中一定です。

1次リチウムコインセルバッテリーは非常に予測可能な動作を取ります。オープン回路電圧または内部インピーダンスのような主要パラメータの分布は厳密にグループ化されています。これらの厳密な分布によって、バッテリーメーカーは異常なセルが排除されたことを保証するために、プロセスの過程に積極的なテスト限界を設定することができます。また、これらの厳密な分布によって、IC/バッテリーシステムに欠陥が含まれているかをバッテリーのユーザが識別することも可能です。例えば、電圧分布と電圧対バッテリー負荷は非常に予測可能なものなので、負荷接続後のバッテリー電圧をバッテリーへの負荷の指標として使えます。もしバッテリー負荷が動作好調のIC分布の電流需要である場合、結果としての負荷電圧も厳密に分布するでしょう。通常の分布外に存在する負荷電圧は異常なIC

またはバッテリーの存在を示唆しています。この結果は、信頼性にリスクがあると思われるモジュールをリジェクトするために使用できます。

## バッテリー検査/審査

バッテリーメーカーが行う100%(全数)テストによって非常に一定した製品が作り出されますが、システムの集積部品としてバッテリーを使用する場合、適切に機能しているセルのみがエンドプロダクトに含まれることを保証するためのテストを行うべきです。適切に定義された審査によって検出される欠陥が3種類あります。第1種の欠陥は、バッテリーメーカーのテストで見逃されたものです。これは最も簡単に検出できます。第2種の欠陥は、低レベルの内部漏電です。バッテリーによっては、一定時間が経過した後に現われるような内部欠陥を持っているものがあります。これらのセルの検出には、適切なテストレベルを理解するだけでなく、結果の予期される分布についても完全な理解が求められます。第3種の欠陥は、バッテリーユーザによる取扱いまたは製造上の欠陥です。利用できる電気容量が制限されているので、セルにかけられた不注意な負荷が、たとえ短時間であっても、電気的寿命を短縮させる結果になります。

完全な審査プログラムとしては、製造プロセスの主要なステップで電気的特性に関する100%(全数)テストがあります。電気的性能は予測可能な性質をもっているため、負荷が加えられる前後のバッテリー電圧を測定することで異常なセルを識別することが可能です。また、このような審査は標準的でない負荷を識別します。電気的な審査のほかに、バッテリーの視認サンプリングが劣化リーク抵抗を生じるような製造上のばらつきを判別するのに役立ちます。

## バッテリーの信頼性モデル

バッテリーは、量的に完全な反応を生じるべき反応素子を使った「平衡のとれた構造」です。電気的反応に対する主要要素は、金属リチウム、電極(陽極)、および電解質です。バッテリーメーカーの目標は、セルからの有効エネルギーを最大化することです。バッテリーの内部容量が制限されているので、これらの要素が適性比の場合に最大エネルギー密度が達成されます。そのため、素子のロス他は他の素子の有効反応を制限してしまいます。バッテリーの信頼性モデルでは、バランスのとれた構造を考慮にいれ、主要素子の消耗を引き起こすも原因となるものを追求します。

バッテリーはシステム内で消費されるものなので、寿命の最も明らかな制限因子はバッテリーにかかる電気的な負荷です。電気的な負荷に基づく寿命の計算は簡単です。寿命を時間数で出すのは、ミリアンペア時で表される有効バッテリー容量をミリアンペア数で表される電流需要で割ります。電気的な負荷の関数としてバッテリーの寿命を決定するには、パワーオンデューティサイクルを考慮する必要があります。適切に設計されたシステムでは、システム電源が適用されている間、バッテリーは電氣的に分離しています。これによって、バッテリー電流のドレインまたはチャージが除去されます。低減されたデューティサイクルは、殆どの時間パワーアップされており、短時間だけバッテリーバックアップに依存するシステムのバッテリー寿命を効率的に延長します。

これらのバッテリーは非常に低電流またはゼロ電流アプリケーションに使用されているので、ユーザは、反応性素子を消耗させる他の要因を探する必要があります。そのようなメカニズムの1つにクリンプシールによる電解質ロスがあります。このメカニズムは活動化エネルギーがおよそ1.0eVの時に温度によって加速されることが示されました。バッテリーの室温での電気ロスは年率0.5%以下です。このメカニズムは無視をしても心配はありません。しかし高温時における電解質ロス率は大きく、考慮する必要があります。

反応性素子の平衡特性のために、電気的な反応によって電解質が消費されても、また温度上昇によってシールを通して排除されても、それは問題ではありません。バッテリーに反応を持続するための電解質が不足した場合、バッテリーは電流を提供しなくなります。そのため、システム寿命を予測する際に電氣的な需要と温度を考慮にいたれた並列モデルを使用することを奨めます(図3)。電気および温度の消耗要因を独立して扱い、あたかも、電解質ロスによる反応が2つの素子間で無いとして寿命を予測するモデルがあります。このようなモデルを使用すると、システムが室温以上の温度にさらされている場合、真の寿命を長く見積りすぎることになります。

バッテリー寿命の計算は、2つの並列抵抗の有効抵抗を計算する時の考え方に似ています。ユーザはICがバッテリーまたはシステム電源から電力を消費しているかコントロールすることが可能なので、電流消費要因にはスイッチが含まれています。ICがシステム電源で駆動されている間は、電力消費による寿命は無限大と概算されます。

IC/バッテリーシステムのメーカは選択した部品や製造プロセスの管理をします。適切に選択された部品と製造過程の審査によってシステムレベルの適正な寿命を得られるはずですが、しかし、最終的なパフォーマンス寿命は、システムの実際に使用に基づいてエンドユーザがコントロールできるものです。エンドユーザはこのモデルの要因

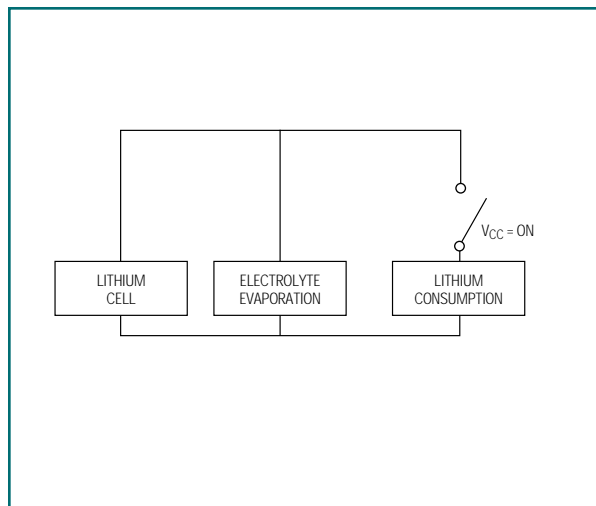


図3. 電解質の蒸発と電氣的消費に基づいたバッテリー寿命

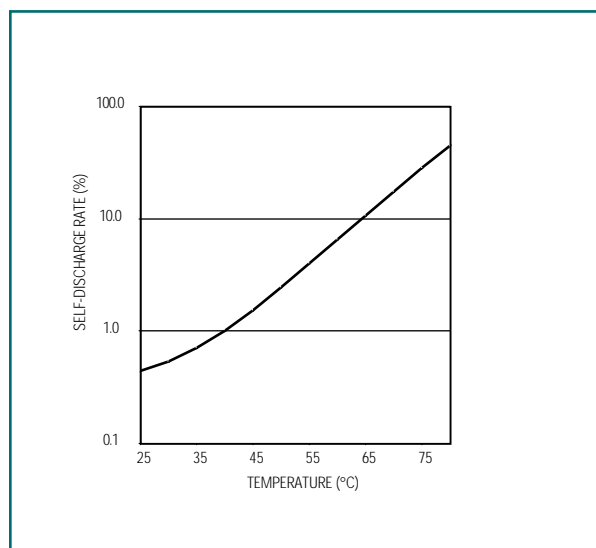


図4. 自己放電率は温度の上昇につれて増加します

を両方ともコントロールすることができます。電気的な負荷要因は、装置のパワーオンデューティサイクルによって制御されます。システム電源が適用される一方、ダラスセミコンダクタ社の部品には、電氣的にバッテリーを分離しバッテリーからの電流ドレインを除去するバッテリー分離回路が含まれています。そのため、信頼性モデルの電気的な負荷要因はシステムがバッテリーでバックアップされている間だけ有効です。システム周囲温度が温度加速要因を制御します。適切な冷却と部品配置によって、バッテリーの温度露出が減少し、システムの寿命が延長されます。

## 寿命計算の例

事例I - このシステムは室温で100%の時間バッテリーバックアップされるように設計されています。室温の場合、電解質の蒸発は事実上無視できるほど少量です。寿命はICの電流ドレインによって制限されます。

### 電気消費要因

バッテリー容量(BR1632) = 120mAh

IC電流ドレイン = 1.2μA

デューティサイクル = 100%

バッテリー寿命 =  $(0.12\text{Ah}) / (1.2 \times 10^{-6}\text{A}) = 100,000$ 時間 = 11.4年

### 電解質蒸発要因

+25 °Cでのバッテリー寿命 = 230年

計算:  $(230 \times 11.4) / (230 + 11.4) = 10.9$ 年

事例II - このシステムは+60 °Cで50%の時間バッテリーバックアップされるように設計されています。電気消費または電解質蒸発による寿命は約20年とみなされています。2つのメカニズムの組合せによって電解質が10年で消費されます。

### 電気消費要因

バッテリー容量(BR1632) = 120mAh

IC電流ドレイン = 1.2μA

バッテリー寿命 =  $(0.12\text{Ah} \times 50\%) / (1.2 \times 10^{-6}\text{A}) = 200,000$ 時間 = 22.8年

### 電解質蒸発要因

+60 °Cでのバッテリー寿命 = 19.1年

計算:  $(19.1 \times 22.8) / (19.1 + 22.8) = 10.4$ 年

## 集積化バッテリーコントローラ

システムにバッテリーバックアップされたSRAMまたはRTCが入るなら、適切なバッテリーコントローラを使うことが重要です。これらのコントローラは、停電の場合にシステム電源からバッテリーへのスイッチングをするとともに、Underwriters Laboratory、または他のテスト機関によって要請されている、オンチップ逆チャージング保護を提供します。ダラスセミコンダクタ社は、システム設計者がバッテリー容量の需要、又はレイアウト上の制約に基づいたシステムをカスタム化できるように、スタンドアロンのバッテリーコントローラを販売しています。

スタンドアロンのバッテリーコントローラは、特定のアプリケーションにおいて大変適している一方、コストの追加になります。エンドユーザが適切なバッテリーを選択し得る

だけでなく、製造プロセスも特殊なバッテリー必要条件に対応する必要があります。バッテリーの有効容量が限定されているので、不要な負荷がバッテリーにかからないことを製造プロセスは保証しなければなりません。このため、一方、設計上の多くの素子はESDに敏感なので伝導性ツールで取り扱われるべきですが、バッテリーは絶縁されたツールまたは非伝導性のツールで取り扱う必要ができてきます。

リチウムバッテリーの組み立てに使用される材料によって温度露出許容度が制限されます。リフロー半田付け作業を一度通っただけでバッテリーは破壊されます。ということは、果たしてバッテリーが機械的なホルダでPCB(プリント基板)に取り付けられるべきか、半田付けでPCBに取り付けられるべきかという問題がでてきます。自動装置とリフロー半田付けで機械的なホルダをPCBに取り付けることができます。そして、高温プロセスが完了した後にバッテリーを挿入します。機械的なホルダは、バッテリーの温度への露出をなくしますが、結果としてシステムはバッテリーを定位置に保持するのに機械的なコンタクトに依存することになります。バッテリーを半田でPCBに取り付けるには、タブ付きバッテリーを購入し、リフロー半田付け作業が完了した後、手作業で素子を半田付けする必要があります。

バッテリーコントローラと別々のバッテリーを使うことへの最終的な懸念は製造プロセスがいかに清浄であるかにあります。イオン化した汚染物質の微量な存在が、設計されたIC負荷に等しい負荷をバッテリーにかける電気的な漏電パスを起こします。これは、システムの有効寿命を大変短くします。

## バッテリーモジュール製品

バッテリーコントローラとバッテリーを含むモジュール製品を使用することにより、上記で取上げた問題のいくつかを避けることができます。モジュールメーカーには、バッテリーを劣化させずに取り扱うため要求されるプロセスがあります。また、モジュール組み立ては、バッテリーをエンドユーザの環境から隔離するので、イオン化汚染問題のいくつかが避けられます。これは結果としてバッテリー寿命の最大化につながります。

更に、ダラスセミコンダクタ社のほとんどのモジュールにはシステム電源が最初に適用されるまでバッテリーを分離する「スリープ・モード」機能が組み込まれています。この機能によって、モジュール製品の組み立てと完全なテストの実行が可能になります。その後、電気的負荷がバッテリーから除去されます。つまり、部品をバッテリーからチャージを失うことなく、長期間在庫として保管することができます。

## 結論

ダラスセミコンダクタ社のバッテリーバックアップ製品は、エンドユーザに特定の寿命を提供するように設計され製造されています。この寿命は「最悪の条件下」で、部品は100%の時間バッテリーでバックアップされると仮定し計算されています。バッテリーの消耗に係わるメカニズムを理解することによって、エンドユーザは、パワーオンデューティサイクルとバッテリー温度露出に基づいて、

妥当でかつ正確なシステム寿命を予測することが可能です。

システム設計にダラスセミコンダクタ社のバッテリーコントローラと、別個に選択したバッテリーをユーザが使うことを考えている場合、選択プロセスにおいてバッテリーの特性を考慮すべきです。有効容量が希望する寿命を提供するのに妥当であることを保証するためには適切なICスクリーニングとバッテリーテストが必要です。