
リチウムイオン電池と スーパーキャパシタの テクノロジー比較

デルテクニカルホワイトペーパー

サーバストレージエンジニアリング
Anand Nunna



目次

はじめに.....	3
充電／放電サイクル.....	3
エネルギー密度と物理的なサイズ.....	3
推定寿命と劣化予測.....	4
障害ポイントの数.....	5
保証.....	6
旧世代から強化された PERC バッテリ.....	6
まとめ.....	7

図

図 1. PERC8 に搭載されたバッテリーの推定寿命.....	4
図 2. 典型的なスーパーキャパシタ設計.....	5

はじめに

本書では、リチウムイオン電池およびスーパーキャパシタテクノロジーの主な相違点と、最新版 Dell™ PowerEdge™ RAID コントローラ (PERC) の設計に、リチウムイオンテクノロジーが選択された理由を説明します。

PERC8 RAID コントローラの設計工程には、キャッシュデータを不揮発性フラッシュメモリに移動するテクノロジーの開発も含まれており、その電源にリチウムイオンバッテリーパック、または、スーパーキャパシタを選択する際は、お客様の様々なニーズが評価されました。設計時に考慮した点は次の通りです。

- 高温に対する耐久性：フレッシュエア (外気冷却) データセンターをサポート
- メンテナンス不要を実現：旧コントローラに見られたようなメンテナンス時の性能低下を回避
- 年月と共に劣化する放電能力への対応：最悪の動作条件下でも 3 年間の保証を実現
- 物理的なサイズ、および、サーバ内の搭載先：サーバ開発チームがメモリと I/O 密度を最大限に高められるよう、大きさや場所に配慮

設計時には、お客様のニーズだけでなく、様々な設計項目も検討されました。その分析結果から、最終的にスーパーキャパシタではなくリチウムイオン電池が採用となったのですが、以降、これらの主な決定理由について説明していきます。

充電／放電サイクル

スーパーキャパシタは、リチウムイオンバッテリーパックより多くの充電／放電サイクルをサポートします。RAID サブシステム内では、通常、バックアップ電源 (非常用電源) としてスーパーキャパシタかリチウムイオンパックが搭載されます。この電源が唯一利用されるのは、AC 電源の切断など、深刻な障害が発生したときのみで、その目的は、コントローラの電源が完全に失われる前に、データキャッシュ内の情報を不揮発性メモリに安全確実にバックアップすることにあります。お客様の実績を見ると、エンタープライズレベルのサーバでこのような重大な障害が起きることは稀なため、この種の用途で、「充電／放電サイクル回数の多さ」というスーパーキャパシタの強みが発揮される機会は少なく、あまり重要ではありません。

エネルギー密度と物理的なサイズ

リチウムイオンセルのエネルギー密度は、匹敵・対応し得るスーパーキャパシタよりはるかに高密度です。リチウムイオンセルは、スーパーキャパシタより単位重量あたり 30~50 倍ものエネルギー量を蓄えることができます。

- 標準的なスーパーキャパシタ：3~5 Wh/kg (ワット時/キログラム)
- 標準的なリチウムイオンセル：100~250 Wh/kg (ワット時/キログラム)

このようにスーパーキャパシタは、エネルギー密度に大きな差があるうえ、最大出力電力も低いいため、電源パックを設計するには、複数のスーパーキャパシタを直列や並列に接続しなければなりません。その結果、物理的なサイズが大きくなり、設計も複雑になります。

推定寿命と劣化予測

スーパーキャパシタとリチウムイオン電池の両方とも、60°C~65°C という高温にさらされると、劣化が生じます。一般に、周辺温度が 10°C ずつ上がるたびに、スーパーキャパシタの寿命は、リチウムイオンの 2 倍の速度で短くなっていきます。エンタープライズクラスのサーバで、非常用電源ソリューションを設計するときは、想定される耐用期間と周辺の動作環境を考慮に入れる必要があります。したがって、期待される製品ライフを十分カバーするには、劣化の分を踏まえ、容量に余裕を持たせた設計としなければなりません。

図 1 は、現世代の Dell PERC8 コントローラカードで採用されているリチウムイオンバッテリーパックの推定寿命をグラフにしたものです。図内の横軸は経過時間 (月数)、縦軸はフル充電量に対する残量 (%) を示しています。

注：ここに示した温度は、バッテリーパックの周辺温度を測定したものであり、ホストサーバの吸気温度ではありません。

図 1. PERC8 に搭載されたバッテリーの推定寿命

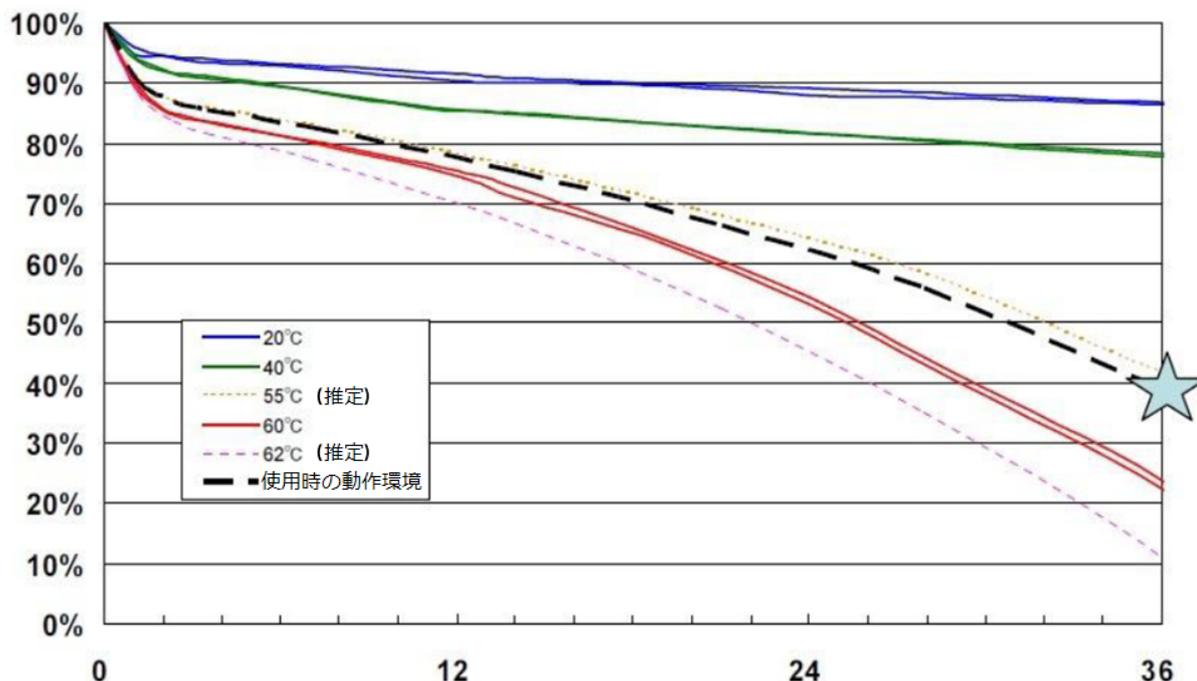


図 1 からわかること：

- 緑の線 (40°C) は、室温 (サーバの吸気温度) が 25°C~30°C に保たれている、典型的なデータセンターのグラフです。シャーシの前面と背面で比較すると、周辺温度は典型的に 10°C~15°C ほど上昇することが予想されます。この温度帯の場合、PERC8 RAID コントローラに使われるバッテリーパックは、3 年が経過すると、当初の容量の約 78% が残ります。

- チラーレス (外気冷却) データセンターの場合、極端な例では、気温が例外的に上昇してサーバの吸気温度が 45°C に到達する可能性があり、その結果、バッテリーセルの温度が 55°C を超えることもあります。しかし、PERC8 RAID コントローラに搭載されたバッテリーパックなら、外気冷却方式に対応できる設計となっており、3 年間の保証も維持できるため安心です。空調を利用する一般的な環境に導入されたときも、この優れた耐熱性は強みとなります。それは、空調の故障時や、その他の緊急事態に見舞われても、ライドスルー時間 (持ちこたえる時間) が長くなるからです。

障害ポイントの数

エネルギー密度の個所で述べたとおり、RAID コントローラの非常用電源としてスーパーキャパシタを使用する場合、十分なエネルギーを得るには、複数の部品を直列や並列に接続しなければなりません。

以下に、その例を挙げて説明します。ここでの設計目標は、次の仕様に従いながら、RAID コントローラサブシステムに 60 秒間通電し、その間に、データキャッシュの内容をフラッシュバックキャッシュ (不揮発性メモリ) にバックアップすることとします。

- 通電時間：60 秒
- 平均的な入力電流：750 mA
- 最小放電電圧レベル：3V

典型的なスーパーキャパシタの最大充電電圧は、2.7V のため、3V の最小放電電圧を確保するには、少なくとも 2 個のスーパーキャパシタを直列接続した部品 (2S) が必要です。仮に 20F (ファラッド) のスーパーキャパシタを $\pm 20\%$ の誤差で使用するとした場合、60 秒間の通電を確保し、さらに、数年後の劣化を考えて容量を少し上乘せするためには、2S のスーパーキャパシタを最低でも 3 セット用意し、これを並列接続する必要があります (デルの試算に基づく)。

図 2. 典型的なスーパーキャパシタ設計

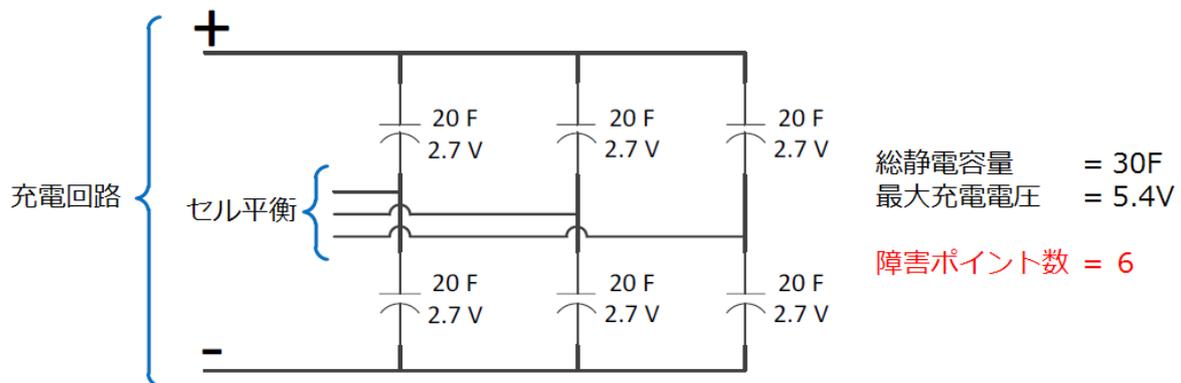


図 2 が示すとおり、この配列内で 1 個のキャパシタが故障すると、回路全体が停止してしまいます。今後仕様が変わって、バックアップ時間が長くなり、60 秒間を超える通電時間が必要になったとしたら、単純にキャパシタ数を追加せざるを得ません。それに伴い、故障するリスクがさらに増えてしまいます。

一方、1 個のプリズムリチウムイオンセルは、コイン電池大のサイズで図 2 に示すエネルギー要件を満たすばかりか、余剰の容量も豊富に得られるので、寿命も長くなります。

保証

典型的なサーバ動作環境で使用されるスーパーキャパシタとリチウムイオンパックは、時間が経つと劣化していくため、設計時に予備の容量をどれくらい組み込むかで、保管寿命/設計寿命/保証期間も変わってきます。当然、容量の余裕が多ければ、サポートできる寿命も延びます。

新世代の RAID コントローラに搭載されているリチウムイオンバッテリーパックは、周辺温度 = 55°C~60°C という最悪の条件下でも 3 年保証に対応できるよう設計されています。このバッテリーサブシステムは、時の経過と共に劣化することを考慮し、相当の余剰分が追加されているため、3 年間の保証後も余裕を持って機能し続けられるはずです (その長さは、ホストシステムの吸気温度によって変わります)。

旧世代から強化された PERC バッテリ

第 12 世代の Dell PowerEdge サーバと共にリリースされた新世代の PERC8 RAID コントローラは、容量が約 1.6Wh (ワット時) の業界標準プリズムリチウムイオンセルを採用しています。このバッテリーサブシステム設計は、前世代から次の点が強化されました。

- **Transparent Learn Cycles (透過的学習サイクル、TLC):** TLC は言わば、バッテリーセルのヘルス状態を監視するメーターです。本機能は、インピーダンス追跡テクノロジーを通じて、セルの耐用期間中、任意の時点で、セル内の残存容量をより正確に捉えることができます。この新テクノロジーが画期的なのは、リチウムイオンセルの一部を放電するだけで、バッテリーパックのヘルスを評価できることです。つまりこの RAID コントローラは、学習サイクル中でも高性能なライトバックモードを維持できるので、TLC の実行中に性能が低下することはありません。前世代の PERC では、学習サイクル中、RAID コントローラをライトバックからライトスルーモードに切り替える必要があったため、この間、コントローラのデータスループット性能が低下していました。しかし、新しい TLC テクノロジーは完全に透過的なため、学習サイクルがバックグラウンドで実行され、その処理をユーザが意識することはありません。これからは、学習サイクルをスケジュールしたり、強制実行したりする必要がなくなり、メンテナンス不要となるため、性能の低下も回避できます。
- **コントローラ上に統合:** セルの小型化 (約 16 cm²) により、バッテリーパックはコントローラ上に直接搭載できるようになりました。これにより、設計から、結束、配線、ケーブルロスが排除できます。
- **保証:** PERC8 RAID コントローラ上のバッテリーパックは、これまでの 1 年保証から 3 年保証に延長されました。このバッテリーバックアップソリューション設計は、予備の容量を豊富に確保しているため、寿命は、3 年をゆうに超えることが期待されます。
- PERC8 の設計で採用したのは、実績豊富で信頼性も高い携帯電話業界のリチウムイオン技術です。
- PERC8 コントローラが採用している Cache-to-Flash (キャッシュトウフラッシュ) 機能は、電源障害時に備え、最小限のエネルギー消費でキャッシュの内容を不揮発性メモリに保存するテクノロジーです。バックアップが完了し次第、システムからバッテリーのエネルギー供給源が切断されるので、エネルギーの無駄使い/枯渇が避けられます。
- PERC8 コントローラ上のバッテリーは、バッテリー管理回路が障害を検出しない限り、交換する必要はありません。つまり、メンテナンス不要です。

まとめ

エンタープライズサーバは、世代を重ねるごとに高密度化が加速しており、同等以下のサイズで提供される機能は大幅に増えています。このため、与えられたスペースを最大限に活用し、より効率的で小型なサブシステムを計画する重要性がこれまで以上に増えています。M620 ブレードサーバは、難しい高密度化を成功させた適例の1つです。デルの目的重視の設計により、メモリ密度を 50% も増やすことができました。

リチウムイオンバッテリー技術とスーパーキャパシタ技術には、それぞれ固有の長所、短所があるため、重要なキャッシュデータを不揮発メモリにバックアップするための非常用電源として採用するときは、システム設計上の制約、お客様のニーズ、統合オプションなどが選択基準となります。

これらの要因を総合的に判断した結果、デルが今回 PERC8 RAID コントローラに採用したのは、リチウムイオンバッテリーです。その他の長所として、メンテナンス要らずのソリューションであること、良く知られた技術のため安心して利用できること、標準の3年保証が提供可能であることも評価されました。また、耐熱性にも優れるため、データセンターの冷却の必要性が緩和され、その結果、お客様の運用費を節約することができます。さらに、この耐熱性を活かして次のデータセンターをチャラーレスにすれば、リスクを抑えながら設備投資の大幅削減が可能になり、二酸化炭素の排出量を抑え、組織のグリーン化も推進できます。

**本書は、情報提供のみを目的に執筆されており、誤字脱字や技術上の誤りには責任を負いません。
本書の内容は執筆時現在のものであり、明示的、暗示的を問わず、いかなる内容も保証いたしません。**

© 2012 Dell Inc. ©2012 デル株式会社 All rights reserved. (著作権所有)

デルとその関連会社は、誤字、脱字、誤植や、図、写真の誤りや不備について一切の責任を負いません。Dell、DELL のロゴマーク、PowerEdge は、米国 Dell Inc. の商標です。本書では、マークや名前を届け出た実在のもの、もしくは、その製品のいずれかを参照するため、その他の商標、商号を使用している可能性があります。デルは、その他のマークや名称について、商標上の利権に対する要求に一切に応じません。

2012年6月 | Rev 1.0