

電動工具用リチウムイオン電池の充放電制御

Charge / Discharge Control of Lithium-Ion Battery for Power Tools for Ensuring Safety and Reliability

オノ本 良典* ・ 北村 浩康* ・ 有村 直* ・ 大橋 敏治** ・ 阪上 正昭** ・ 宮崎 博**
Yoshinori Sainomoto Hiroyasu Kitamura Tadashi Arimura Toshiharu Ohashi Masaaki Sakaue Hiroshi Miyazaki

高パワー・高エネルギー密度のリチウムイオン電池を充電式電動工具の電池パックに採用するために、各セル電圧を監視し、いずれかの電池セルが過充電電圧を超えると非復帰の保護素子を動作させる方式とすることで、周囲温度等の影響を受けることなく、工具独特の大電流放電に適した充放電制御回路を開発した。

さらに、電池セルの安全性向上と併せて過充電に対して5重安全の充放電制御を達成するとともに、従来品に比べて27%の軽量化と3倍以上のサイクル寿命を実現している。

In order to employ high-power and high energy-density lithium-ion batteries for power tools, a charge / discharge control circuit suited for large-current discharge uniquely required for power tools has been developed by monitoring each battery cell voltage and activating a non-restorable protection device when any of the cells exceeds the over-charge voltage without being affected by the ambient temperature.

In addition to the improved safety of battery cells, the charge / discharge control ensures five levels of safety against over-charging, combined with 27% lighter weight and a more than 3-fold increase in the product's life from the previous model.

1. ま え が き

充電式電動工具（以下、工具と記す）は電池パックの高容量化に伴い、現在主流の12 V, 3 Ah ニッケル水素電池パックの質量は710 gとなり、工具全体の約4割を占めるため軽量化が重要な課題となっている。

そこで筆者らは、高パワー・高エネルギー密度のリチウムイオン電池を採用して電池パックの軽量化と長寿命化を検討した。

リチウムイオン電池は、電解液に可燃性有機溶媒を用いていることから、過充電時や外部および内部短絡時に熱暴走に続いて発火に至る危険性がある。

そこで、リチウムイオン電池の導入に際しては、安全性・信頼性向上のための各種技術開発が行われ、すでにPCや携帯電話などに採用されている。しかし、これらとともに採用された充放電制御回路を大電流放電が必要な工具に適用するには、制御素子の発熱が大きく、サイズ・コストの点からも難しい。

そこで筆者らは、電池メーカーと共同して電池セル自体の安全性・信頼性の高い工具用リチウムイオン電池¹⁾を開発

するとともに、工具に適した安全・信頼性の高い充放電制御技術を開発することで、過充電に対して5重安全を確保するとともに、従来品に比べて27%の軽量化と3倍以上のサイクル寿命^{*1)}を実現したので報告する。

2. リチウムイオン電池の充放電制御

2.1 リチウムイオン電池の特徴

リチウムイオン電池は、従来のニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池に比べ、次のような特徴がある。

- (1) 約3倍のセル電圧、約1.5倍以上の体積・重量エネルギー密度であるため、機器の小型・軽量化が可能である¹⁾。
- (2) 充放電において正負極とも結晶構造は変化せず、リチウムイオンが挿入離脱できるため、長寿命である²⁾。
- (3) 過充電、過放電が繰り返されると特性が劣化し、とくに過充電が継続されると熱暴走に至る危険性がある。
- (4) 高温での充放電では容量が劣化する。

そのため、リチウムイオン電池を複数個直列接続して使用する電池パックの充放電制御においては、以下の高度な制御技術の開発が必要である。

* 電器事業本部 電器R&Dセンター Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

** 電器事業本部 パワーツール事業部 Power Tools Division, Home Appliances Manufacturing Business Unit

- (a) 充電制御においては、設定電圧以下での定電流充電後、電流を漸次下げていく定電圧充電を採用することで、特性の劣化防止と安全性を確保する。
- (b) 放電制御においては、設定電圧で放電を停止し、特性の劣化を防止する。
- (c) 電池容量のアンバランス化を防ぐため、電池セルごとに電圧監視を行う。
- (d) 電池セル温度を検出し、充放電を停止させる。

2.2 リチウムイオン電池の充放電制御

2.2.1 電池パックの回路構成

大電流放電が特徴の工具用に開発した、電池セル4個(BAT1～4)を直列に接続する14.4Vの電池パックの回路を図1に示す。充電時は、充電器からS+, B-端子間に充電電流を供給し、この充電経路にヒューズ抵抗が挿入されている。工具動作時は、工具体体にB+, B-端子間より放電電流を供給する。

ここで、各電池セルの電圧は、過充電検出回路、過放電検出回路、および充電制御検出回路でそれぞれ独立して検出する。いずれかの電池セルが過充電電圧を超えると、過充電検出回路の出力で、ヒューズ抵抗を動作させて充電経路を遮断する。また、いずれかの電池セルが過放電電圧を下回ると、過放電検出回路からの信号は、ノイズ除去のための遅延回路を介して、コネクタCN1のDCGHSTP端子より出力される。ここで、過放電検出回路は、CN1

のVT端子より電源が供給されたときのみ動作するように電源接続回路が設けられ、消費電流を抑えている。さらに、いずれかの電池セルが充電制御電圧を超えると、充電制御検出回路からの信号はCN1のCHGCTL端子より出力される。

CN1の識別端子には識別抵抗が接続され、電池パックの種類を識別するのに用いられる。また、温度センサは電池セルの温度を検出し、CN1のT1端子より出力される。

次に、不揮発性メモリーには、CN1のSDA/TXD, SCL/RXD端子を介して電池情報や充放電履歴が記録される。

ここで、電池パックの回路基板は、防水、短絡防止のため、ポリアミド系ホットメルトで低圧モールド成形を行っている。電池パックの内部構造を図2に示す。



図2 電池パックの内部構造

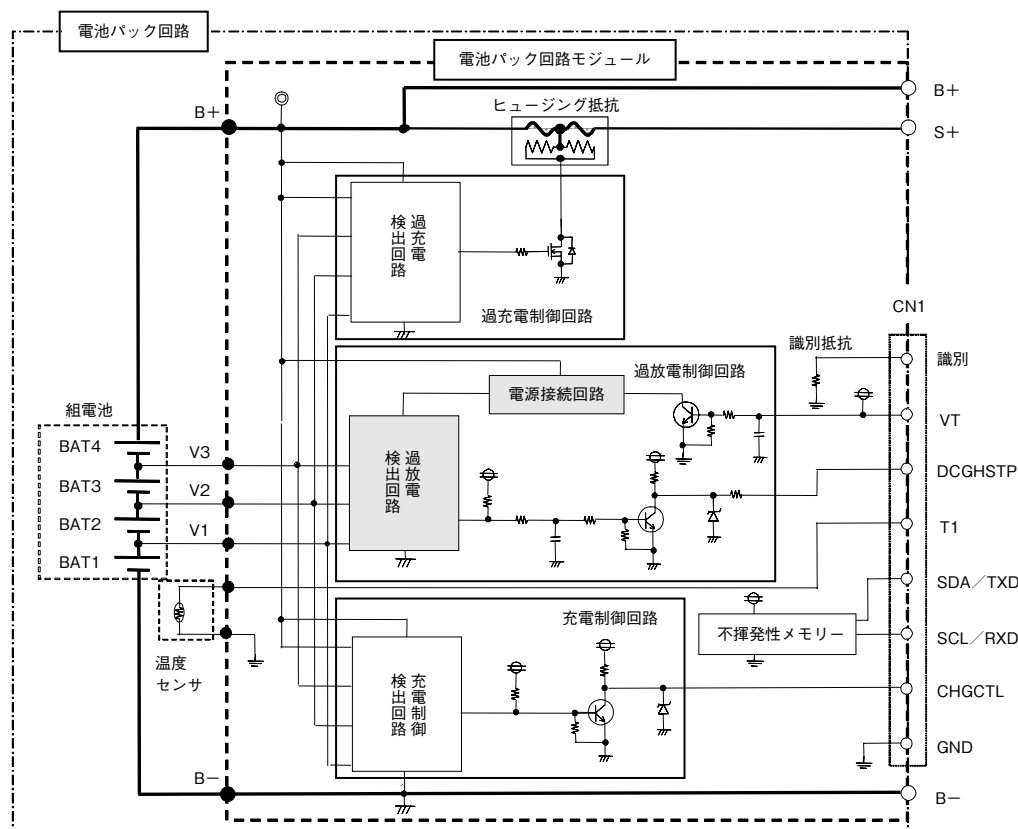


図1 電池パックの回路構成

2.2.2 充電制御

定電流（以下、CCと記す）・定電圧（以下、CVと記す）充電制御を行うため、電池パック内の各セル電圧を監視し、電圧が充電制御電圧を超えた場合、充電制御信号を出力する。リチウムイオン電池の特性として、充電制御電圧が高くなるとサイクル寿命が低下し、逆に充電制御電圧が低くなると充電容量が少なくなるというトレードオフの関係になっているため、検出電圧精度は $\pm 0.05\text{ V}$ 程度が要求される。そこで、これを満たすためリチウム電池制御専用ICを採用している。

また、充電器においては、図3のタイミングチャートに示すとおり、充電制御信号を検出するまではCC充電を行い、この信号を検出すると電流を下げて各セル電圧が充電制御電圧を超えないようにCV充電を行う。ここで、充電器はソフトスイッチングを利用する独自のプッシュプル部分共振技術³⁾を採用することで、高効率かつ低ノイズを実現している。さらに、この充電器は14.4 Vと28.8 Vのリチウムイオン電池とともに従来のニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池にも対応できるようにしており、リチウムイオン電池の電圧範囲の拡充も考慮して7.2～28.8 Vにも対応できるようにしている（図4）。

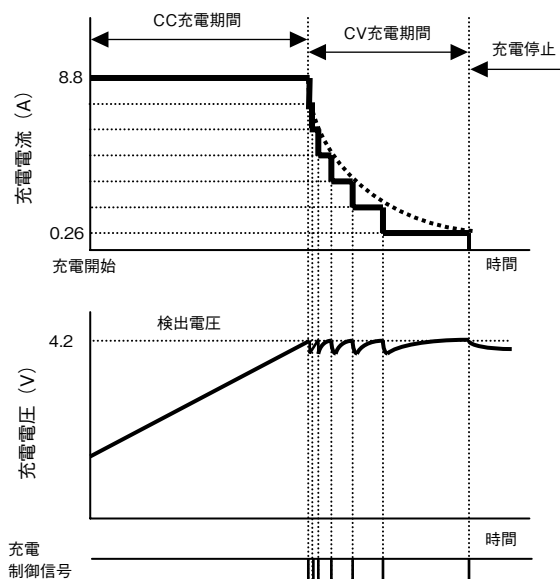


図3 CC-CV充電制御タイミングチャート

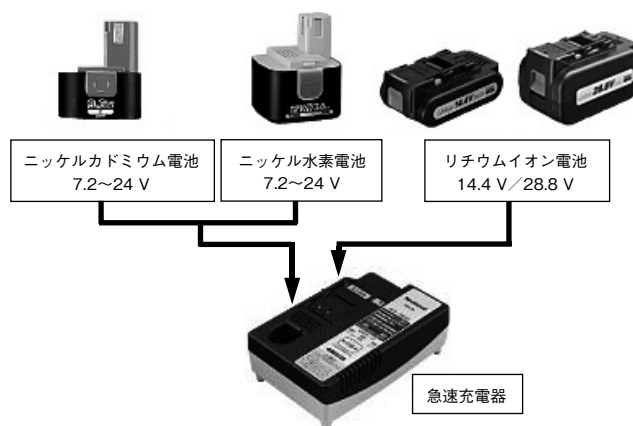


図4 充電器と適用電池パック

2.2.3 過充電保護

リチウムイオン電池の過充電継続による熱暴走の防止策として、以下の5重安全システムを構築しており、その概念図を図5に示す。

- (1) 電池パック内で各セル電圧を監視し、いずれかのセル電圧が充電制御電圧を超えると充電制御信号によりCV充電を行う。
- (2) 電池パック内の電池セル温度をモニタし、一定温度以上で充電を停止する。
- (3) 電池パック内の各セル電圧を監視し、過充電電圧以上になると低消費電流のリチウム電池保護専用ICが非復帰型のヒューズ抵抗を作動させて充電経路を遮断する。
- (4) 過充電による電池セルの内圧上昇によって作動する電流遮断機構（CID）を搭載する。
- (5) 電池セルの正極に熱安定性の高い材料（PSS技術¹⁾）を採用する。

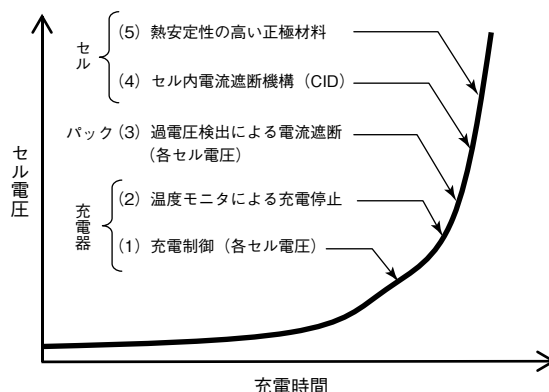


図5 過充電保護システムの概念図

2.2.4 過放電保護

リチウムイオン電池の過放電による容量劣化防止策として以下の4重安全システムを構築しており、その概念図を図6に示す。

- (1) 工具本体で電池パックの端子電圧を検出し、一定電圧以下で放電を停止する。
- (2) 電池パック内で各セル電圧を監視し、いずれかのセル電圧が過放電電圧以下で過放電制御信号により、放電を停止する。
- (3) セル温度をモニタし、一定温度以上で放電を停止する。
- (4) 逆充電による電池セルの内圧上昇で動作する電流遮断機構（CID）を搭載する。

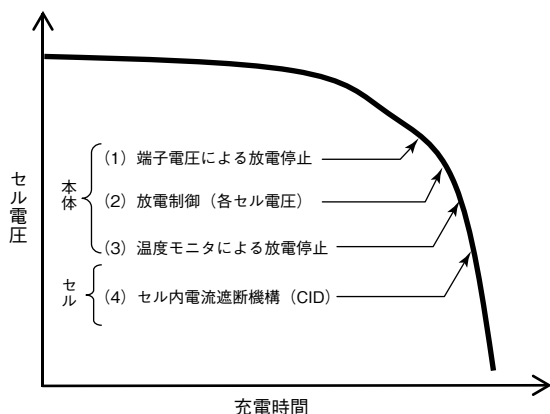


図6 過放電保護システムの概念図

さらに、過放電検出後1年間放置された場合でも容量劣化しないようにするためには、過放電検出後の回路電流をきわめて小さな値にする必要がある。

これらを低コストで実現する回路方式として、ツェナーダイオードで基準電圧を設定し、コンパレータで検出する回路を採用する（図7）。工具本体あるいは充電器に装着されると、起動信号を受けてコンパレータおよびツェナーダイオード回路に電源を設定し、それ以外は電源を遮断することによって過放電検出後の消費電流を低減している。

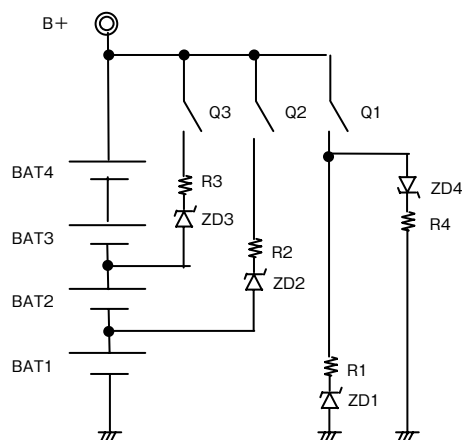


図7 過放電保護回路

この回路では起動時の各セル消費電流にアンバランスが生じるが、電池セルの容量ばらつきに対しては問題になら

ないレベルである。また、電池セルの電圧を検出するためのリード線断線故障時には、断線部に接続されている基準電圧が大きく変動するため、過充電検出回路が働いてヒューズ抵抗が動作し、充電経路が安全に遮断することを確認している。

2.3 電池パックのサイクル寿命

開発した充放電制御回路により、14.4 Vの電池パックにおけるサイクル寿命は、従来のニッケル水素電池に比べて3倍以上を実現している。これは、充放電時の各セル電圧監視機能により、リチウムイオン電池の性能を最大限に引き出しているものと考えられる。

3. リチウムイオン電池の電圧展開

これまで電池4セルを直列に接続した14.4 Vの電池パックに関して述べたが、電池8セルを直列に接続した28.8 Vの電池パックについては、4セルの回路構成を2連で構成することにより、4セルと同等の安全・信頼性を実現する電池パックを開発している。これにより、今後仕様変更のみで2～8セルの電池パックに対応できる。充電器については、すでにこれらの電池パックに対応可能な充電器を発売している。なお、1セル（3.6 V）の電池パックについては別途、電池パックと充電器のセットとして開発し実用化している。

図8に製品化した、代表的なリチウムイオン電池搭載工具を示す。



図8 14.4 V工具（左）と28.8 V工具（右）

4. あとがき

高パワー・高エネルギー密度のリチウムイオン電池を充電式電動工具の電池パックに採用するために、各セル電圧を監視し、いずれかの電池セルが過充電電圧を超えると非復帰の保護素子を動作させる方式とすることで、周囲温度等の影響を受けることなく、工具独特の大電流放電に適した充放電制御回路を開発した。

さらに、電池セルの安全性向上と併せて過充電に対して5重安全の充放電制御を達成するとともに、従来品に比べて27%の軽量化と3倍以上のサイクル寿命を実現した。

最後に、本開発に際してご協力をいただいた松下電池工業株式会社の関係者の皆様に対し、深く感謝いたします。

●注

* 1) サイクル寿命：通常満充電後、実使用に近いパターン放電を1サイクルとした寿命回数（電池初期容量の60%以上）

＊参考文献

- 1) 大峰 一雄, 村岡 芳幸, 中井 晴也, 井上 廣樹：電動工具用円筒型リチウムイオン二次電池「CGR26650」, *Matsushita Technical Journal*, Vol. 52, No. 4, Aug, p. 31-35 (2006)
- 2) 芳尾 真幸, 小沢 昭弥：リチウムイオン二次電池, 日刊工業新聞社 (1996)
- 3) 北村 浩康, 有村 直, 大橋 敏治, 阪上 正昭, 池田 昌樹, 折笠 仁一：ソフトスイッチングを利用した高効率低ノイズ工具用充電器, *松下電工技報*, No. 79, p. 104-109 (2002)

◆執筆者紹介



オノ本 良典
電器 R & D センター



北村 浩康
電器 R & D センター



有村 直
電器 R & D センター



大橋 敏治
パワーツール事業部



阪上 正昭
パワーツール事業部



宮崎 博
パワーツール事業部