

# 市販リチウムイオン電池の 釘刺し試験法に関する考察(その4)

バッテリー技術部 磯部 武文  
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 バッテリー技術部長 荒川 正泰

Keyword：リチウムイオン電池，安全性規格，安全性試験，内部短絡，釘刺し試験，強制内部短絡試験，Blunt Nail 試験，熱暴走

## 1. はじめに

リチウムイオン電池にかかわる不具合や事故が相次いでいる。ボーイング787に搭載されたリチウムイオン電池が航行時に発煙した事故<sup>1)</sup>，EV（電気自動車）用のバッテリーパックが出荷前検査中に発火した事故<sup>2)</sup>やPHEV（プラグイン・ハイブリッド車）用のバッテリーパックが充電後に溶損した事故<sup>3)</sup>などである。これまで、リチウムイオン電池にかかわる事故は携帯機器でたびたび報告されていた<sup>4~6)</sup>が、近年のリチウムイオン電池の普及に伴いさまざまな分野で不具合や事故が発生している。

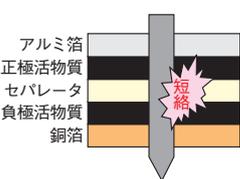
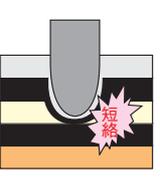
リチウムイオン電池は動作電圧が高く（たとえば、ニッケル水素電池の平均電圧は1.2Vであるが、リチウムイオン電池の平均電圧は3.7Vである）、水溶液系の電解液が使えないため、可燃性の有機電解液を使用しており、燃える可能性のある電池である。そのため、起こり得るユーザの誤使用や過酷な使用環境を想定してさまざまな安全性規格が定められ、安全性試験が行われている。主な安全性規格として、IEC（国際電気標準会議）規格のIEC62133やUL（Underwriters Laboratories Inc.）規格のUL1642などが挙げられる。また、IEC規格を基にJIS（日本工業規格）のJIS C8712「密閉型小形二次電池の安全性」が定められ、特に400Wh/ℓ以上の高い体積エネルギー密度を持つリチウムイオン電池に対しては、JIS C8714「携帯電子機器用リチウムイオン蓄

電池の単電池及び組電池安全性試験」が適用されている。IEC62660-1および2では、電気自動車用のリチウムイオン電池の性能評価や信頼性および過酷試験などが定められている。

これらの規格で実施される安全性試験は多岐にわたり、電氣的試験（外部短絡，過充電等）や環境試験（低圧，加熱等），機械的試験（圧壊，落下等）などが行われているが、前述のリチウムイオン電池の事故原因の一つと考えられている内部短絡を評価する試験は少ない。内部短絡とは、通常電池内部では正極と負極はセパレータにより絶縁されているが、何らかの原因により正極と負極が接する状態である。短絡部では短絡電流が流れるため、異常なジュール発熱が起こり熱暴走状態のトリガーとなり得る。また、内部短絡は電池外部の回路では制御することができない状態である。これまで我々は特に内部短絡状態に注目し試験を行い、報告を行ってきた<sup>7~9)</sup>。内部短絡状態を作り出し、評価することで電池の潜在的な安全性能を知ることができると考えるからである。

内部短絡状態を模擬・評価する方法として次の3つの試験方法が提案・実施されている。釘刺し試験，強制内部短絡試験，Blunt Nail 試験である。表1に内部短絡を模擬した3つの試験の特徴を比較した。表中に示す図は各試験の短絡状況を表わしているが、簡略化のため正極-負極1層のみを示している。実際の電池ではこのような構造が何層にも重ねられているのである。各試験の特徴を紹介していく。

表1 内部短絡模擬試験の比較

試験名	釘刺し	強制内部短絡	Blunt Nail
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>簡単に試験できる</li> <li>単純な内部短絡時の電池の挙動を知ることができる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造時に起こり得る内部短絡状態を模擬することができる</li> <li>試験手順が複雑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>釘刺しと同じ手順で簡単に試験できる</li> <li>電池部材同士の短絡微小短絡状態</li> </ul>
規格	<ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JIS C8714, 8715-2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UL（提案）</li> </ul>
短絡状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>釘穴から電解液，熱が放出</li> <li>釘を介しての短絡</li> </ul> 		

### 1) 釘刺し試験

文字通り電池に鉄釘を打ち込み、貫通させて内部短絡を起こす試験である。試験の利点としては、試験環境を整えば比較的簡単に試験することができ、単純な内部短絡時の電池の挙動を知ることができるという点である。一方、欠点としては釘刺し時に開いた釘穴から電解液や熱が放出されるため、評価が甘くなるという点である。また、釘を介しての短絡であるため、実際に起こり得る内部短絡の状態とは異なる点であり、釘刺し条件により異なる結果が得られる場合がある。

### 2) 強制内部短絡試験

前述の JIS C8714 で規定されている、電池内部に微小な金属片を挿入し、加圧することで人為的に内部短絡を作り出す試験である。試験の利点としては、製造時に起こり得る導電性異物の混入による内部短絡の状態を模擬することができる点である。一方、欠点としては、後述するように試験手順が非常に複雑である点が挙げられる。

### 3) Blunt Nail 試験

UL が提案をしている、先端が尖っていない (Blunt) 釘を用いて外部から電池を押し潰し、電池に穴を開けずに電池内部での微小短絡状態を作り出す試験である。試験の利点としては、釘刺し試験と同じ手順で試験を行うことができる点と、釘を介しての短絡ではなく電池部材同士の短絡という、実際に起こり得る内部短絡状態を作り出すことができる点である。欠点としては、近年 UL によって提案された試験であるため、試験の妥当性が十分議論されていない点である。

今回、我々は内部短絡を模擬する3つの試験を行い、それぞれの試験の特徴および再現性・有効性を確認した。以下では第53回電池討論会で発表した内容<sup>10)</sup>を基に最新の試験結果を紹介する。

## 2. 釘刺し試験

### 2.1 試験条件

試験対象は、市販されている携帯機器用の角形リチウムイオン電池である。エネルギー密度は約450Wh/lであり、電池にはPSEマークが印刷されていた。この電池を室温で4.20Vの充電をし、満充電状態にした後、φ2.5mmの鋼鉄製の釘を電池中央部に貫通させる釘刺し試験を行った。釘刺し条件依存性および試験の再現性を確かめるため、200mm/秒と20mm/秒の2水準の速度でそれぞれ3回釘刺し試験を行った。

### 2.2 試験結果

#### 1) 200mm/秒での釘刺し

200mm/秒の速度で行った試験の釘刺し前後の電池電圧、釘刺し付近の電池温度と電池の表面温度を図1に示す。測定開始10秒後に釘が電池を貫通して短絡したため、

電池電圧が急激に低下している。短絡により発生したジュール熱により釘刺し付近の電池温度と電池表面温度は上昇していくが、130℃が最高温度であり熱暴走には至らなかった。他の2回も同様に短絡後のジュール発熱による温度上昇は見られたが、熱暴走には至らなかった。

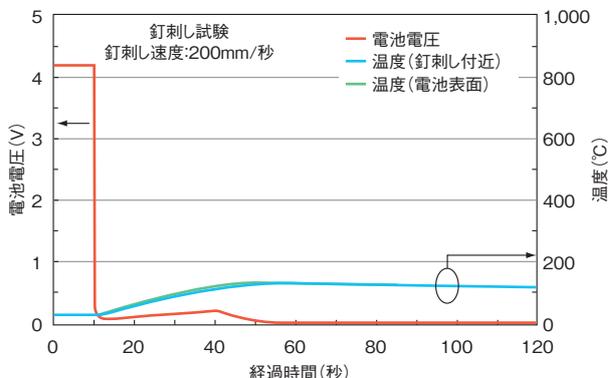


図1 200mm/秒の釘刺し試験前後の電池電圧、温度



図2 200mm/秒の釘刺し後の電池表面

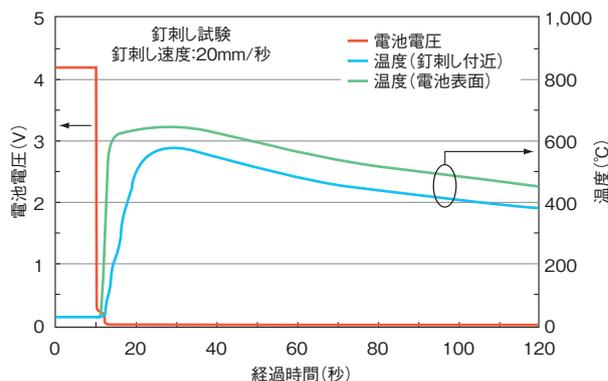


図3 20mm/秒の釘刺し試験前後の電池電圧、温度



図4 20mm/秒の釘刺し後の電池表面

200mm/秒の釘刺し試験では、3回の試験中3回ともに熱暴走しないという結果が得られた。

#### 2) 20mm/秒での釘刺し

20mm/秒の速度で行った試験の釘刺し前後の電池電圧、釘刺し付近の電池温度と電池の表面温度を図3に示す。測定開始10秒後に釘が電池を貫通して短絡したため、電池電圧が急激に低下している。短絡直後に釘刺し付近の電池温度と電池表面温度は急上昇し熱暴走状態になり、温度は最高で600℃以上にまで達した。また、熱暴走後に釘穴から火花が散り、高温の煙が噴出された。試験後の電池を図4に示す。熱暴走により電池が高温にさらされたため、釘刺し付近では電池の電極材料が露出している。茶色く見えるのは負極集電体の銅箔である。他の2回も同様に釘刺し・短絡直後に熱暴走し、高温の煙を噴出した。

20mm/秒の釘刺し試験では、3回の試験中3回ともに熱暴走するという結果が得られた。

### 2.3 まとめ

釘刺し速度により対照的な試験結果が得られ、釘刺し条件依存性を確かめることができた。釘刺し速度が速い場合は熱暴走せず、釘刺し速度が遅い場合は熱暴走したことから、釘刺し速度が遅いほど微小短絡状態が長く続き微小領域に短絡電流が集中するため、局所的なジュール発熱が大きく熱暴走しやすいと考えることができる。また、どちらの条件でも再現性のよい結果が得られた。まとめると、釘刺し試験は再現性のよい試験であるが、釘刺し速度依存性が大きいので、適切な条件を設定して試験を行わなければ電池の潜在的な安全性を評価することができないと考えられる。

## 3. 強制内部短絡試験

### 3.1 試験方法

詳しい試験手順は JIS C8714 および本誌前号 (No.23) を参照し、ここでは簡単に説明する。試験対象は釘刺し試験で使用したものと同一種類の電池である。この電池を4.20V 満充電状態にした後、電池パックから電極体を取り出し、正極活物質とセパレータの間にニッケル小片を挿入する。ここではニッケル小片がセパレータを突き破り、正極活物質-負極活物質間で短絡することを想定している。その後、元の状態に戻してニッケル小片の挿入位置を専用の治具を用いて0.1mm/秒の降下速度で400Nまで加圧する。このような手順で試験を3回行った。

### 3.2 試験結果

強制内部短絡試験では、3回中1回だけ熱暴走状態に至り、熱暴走する場合と熱暴走しない場合があった。熱

暴走したときは、短絡部で短時間火花が散った後に高温の煙を噴出した。電池表面の最高温度は500℃以上であった。ニッケル片を介した微小短絡状態が形成され、微小領域に大電流が流れて熱暴走に至ったと考えられる。熱暴走しなかった場合でも、挿入したニッケル小片を介した正極活物質-負極活物質間の1層だけの微小短絡状態を作り出すことができたが、短絡時の発熱は小さく、最高でも4℃程度電池温度が上昇しただけである。高抵抗の内部短絡状態が形成されていたため、短絡電流も小さく熱暴走しなかったと考えられる。

### 3.3 まとめ

強制内部短絡試験では、実際に起こり得る製造時に混入した金属片による微小短絡の状態を模擬的に作り出すことができた。一方で、試験結果にばらつきが見られたため、試験の再現性が問題であると考えられる。また、満充電状態での電池の解体や、微小なニッケル片の挿入など複雑な作業を伴うため、試験実施者のスキルが必要であることも確認することができた。

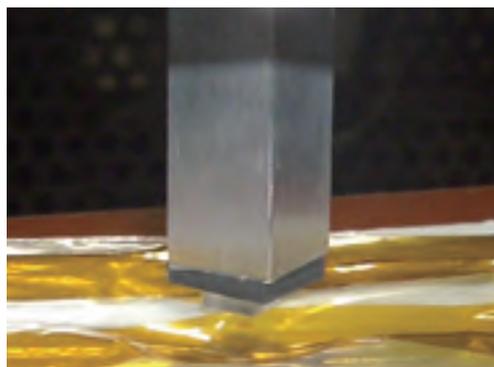


図5 強制内部短絡試験の様子



図6 強制内部短絡試験で熱暴走した後の電池

## 4. Blunt Nail 試験

### 4.1 試験方法

試験対象は、釘刺し試験と強制内部短絡試験で使用したものと同一種類の電池である。この電池を4.20V 満充電状態にした後、Blunt Nail を用いて0.1mm/秒の速度

で電池を加圧する。電池電圧が0.5V以上低下した時点で短絡とみなし釘の降下を止める。この試験では釘を介しての短絡ではなく、外部から圧力をかけていきセパレータを破壊して電池内部で正極活物質-負極活物質が接触・短絡するような状態を想定している。なお、ここで使用した Blunt Nail は UL が提案しているものではなく、当社独自の先端を半球状に加工した釘であり、釘の内部に熱電対が配置されているため短絡部直近の温度をモニタすることができる。

#### 4.2 試験結果

Blunt Nail 試験前後の電池電圧、Blunt Nail 内部の温度（短絡部直近の温度）、Blunt Nail 加圧部付近の電池温度と電池の表面温度を図7に示す。測定開始10秒後に電圧が0.5V以上低下したため釘の降下を止めたが、電圧は0Vまで低下し短絡した。短絡直後に短絡部直近の温度、Blunt Nail 加圧部付近の電池温度と電池表面温度は急上昇し、それぞれ400℃以上にまで達し熱暴走した。特に短絡部直近の温度は短絡後数秒で500℃以上に達しており、短絡部での局所的な発熱の大きさが伺える。熱暴走時に Blunt Nail 加圧部から火花が散り、高温の煙が噴出された。他の2回も同様に短絡直後に熱暴走し、高温の煙を噴出した。

Blunt Nail 試験では、3回の試験中3回ともに熱暴走するという結果が得られた。

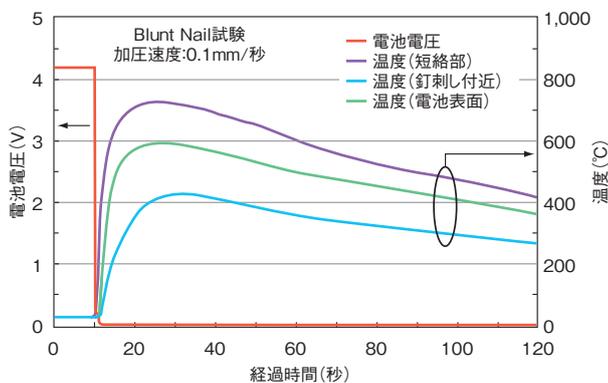


図7 Blunt Nail 試験前後の電池電圧, 温度

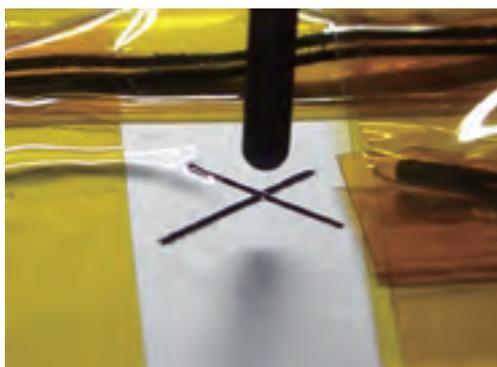


図8 Blunt Nail 試験の様子

#### 4.3 まとめ

Blunt Nail 試験で想定している、外的な圧力により電池内部での微小な短絡状態を作り出すことができました。また、再現性のよい試験であることも確認することができました。このことから、Blunt Nail 試験は内部短絡を模擬・評価する試験として有効であると考えられる。

### 5. 考察

今回行った3つの内部短絡を模擬した試験の結果を表2に示す。表中「○」は熱暴走が起こらず、「×」は熱暴走が起こった試験である。試験結果からわかるように、今回の試験で使用した電池はある条件下では熱暴走する電池である。つまり、潜在的に熱暴走する可能性のある電池である。電池の潜在的な危険性を把握するという意味では、再現性があり実際に起こり得る内部短絡状態を模擬した Blunt Nail 試験は有効であると考えられる。

表2 内部短絡模擬試験結果

試験名	試験速度	結果		
釘刺し	200mm/秒	○	○	○
	20mm/秒	×	×	×
強制内部短絡	0.1mm/秒	○	×	○
Blunt Nail	0.1mm/秒	×	×	×

○：熱暴走なし、×：熱暴走あり

### 6. おわりに

現在、我々の身の回りでは多くのリチウムイオン電池が使われている。その大半が表に見えず使われているため、ユーザにとってリチウムイオン電池とはブラックボックスのような存在である。今後さらにリチウムイオン電池の利用が拡大・増加することが予測されるが、サイクル性能や寿命、値段という面だけでなく、安全性にも注目し、ユーザが安心して使用できる電池が求められているのである。

#### 〔参考文献〕

- 1) 運輸安全委員会航空事故インフォメーション重大インシデント：<http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/aircraft/index.php>  
※事故調査の進捗状況が随時更新されている
- 2) 三菱自動車プレスリリース：[www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_jp/corporate/2013/news/detaild327.html](http://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_jp/corporate/2013/news/detaild327.html), 2013. 3. 27
- 3) 三菱自動車プレスリリース：[www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_jp/corporate/2013/news/detaild326.html](http://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_jp/corporate/2013/news/detaild326.html), 2013. 3. 27
- 4) ソニー報道資料：<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/200609/06-090>, 2006. 9. 29
- 5) KDDI 報道資料：[http://www.kddi.com/corporate/news\\_release/2011/0930a](http://www.kddi.com/corporate/news_release/2011/0930a), 2011. 9. 30

- 6) Apple Press Info : <http://www.apple.com/jp/pr/library/2008/08/20The-first-generation-iPod-nano-battery-problems.html>
- 7) 荒川正泰, 市村雅弘, 磯部武文 : NTT ファシリティーズ総研レポート, No.21, 2010. 6
- 8) 荒川正泰, 市村雅弘, 磯部武文 : NTT ファシリティーズ総研レポート, No.22, 2011. 6
- 9) 磯部武文, 荒川正泰 : NTT ファシリティーズ総研レポート, No.23, 2012. 6
- 10) 磯部武文, 荒川正泰 : リチウムイオン電池の安全性試験法の研究 4, 第53回電池討論会, 1A30, 2012. 6



いそべ たけふみ  
磯部 武文  
バッテリー技術部  
リチウムイオン電池の性能評価, 安全性評価業務に従事



あらかわ まさやす  
荒川 正泰  
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 バッテリー技術部長  
工学博士, リチウムイオン電池の安全性評価, 燃料電池の評価業務に従事  
電気化学会, 米国電池化学会会員

## Synopsis

### A Study on Methods of Nail Penetration Testing of Commercial Lithium-Ion Batteries (Part 4)

Takefumi ISOBE

Masayasu ARAKAWA

With the spread of lithium ion batteries in recent years, accidents involving lithium ion battery faults not only in mobile devices, but also in fields of industry such as electric vehicles and aircraft, have become a common occurrence. While, because lithium ion batteries make use of inflammable organic electrolytic solution, a wide range of safety standards that anticipate factors such as conceivable incidents of misuse and rigorous usage environments is set and batteries are subjected to safety performance testing, testing to evaluate internal short circuits, one conceivable fault and cause of accidents, is rare. So far, we have conducted and reported on testing with the focus on internal short circuits.

As the next step, we have conducted three types of test; nail-penetration testing that simulates internal short circuits, forced internal short circuit testing and blunt nail testing, and have verified the characteristics, reproducibility and efficacy of each. The results reveal that, while demonstrating good reproducibility, nail-penetration testing is largely dependent on the nail penetration speed, necessitating the settings of suitable test parameters. Moreover, the forced internal short circuit test method proved to be complicated and presented problems with reproducibility. On the other hand, the blunt nail method enables relatively simple testing and demonstrates good reproducibility, making this an effective approach to the evaluation of internal short circuits.