

自動車用リチウムイオン電池の強制内部短絡試験の代替試験法の検討

A Study on an Alternative Test Method of Forced Internal Short Circuit Testing for Lithium-ion Batteries in Automobile Applications

前田 清隆*1
Kiyotaka MAEDA

高橋 昌志*1
Masashi TAKAHASHI

Abstract

IEC 62660-3, which specifies safety requirements of lithium-ion cells for automobile applications, states that a forced internal short circuit (FISC) test is to be conducted. However, it is said that conducting an FISC test is difficult because of both safety concerns and technical issues. Hence, having conducted the FISC test and alternative tests in some types of cells, we found that one of the alternative test methods, which releases a ceramic nail with a Ni tip 30 seconds after the internal short has occurred, has potential as an alternative. This alternative method is easier to conduct and obtains lower shorted layers than the original method, yet the method has almost the same event.

1. はじめに

電動車両に搭載されるリチウムイオン電池パックには、電池の電流や電圧、温度の監視、演算及び制御などを行うBattery Control Unit（以下、BCUという）が備わっており、仮に異常を検知した場合には、安全性の低下などを避けるために、回路の遮断などを行う。このBCUは、電池の外部に取り付けた回路で異常を検知して作動し、一度安全装置が作動すると、通常は電池が危険な事象に至ることは無い。一方、内部短絡による異常は電池の単セルそのもので生じる事象であることから、例え異常を検知しても、制御できずに内部短絡が継続し続けるため、発煙または発火に至ることも考えられる。近年、内部短絡によるスマートフォンの電池からの発火事故も発生している¹⁾。

このような内部短絡に対する安全性を評価する標準試験法は強制内部短絡（Forced internal short circuit. 以下、FISCという）試験として、IEC 62660-3²⁾（自動車用リチウムイオン電池単セル安全要件）に規定されている。FISC試験は単セ

ルを解体して電極体の正極合材と負極合材の間にNi片を入れた後、その部位に圧力を印加することで内部短絡を発生させて安全性を評価する方法である。この試験は、単セルを解体する必要があることから、技術面及び安全面において実施が難しい場合がある。そのため、より容易かつ解体をせずに安全に実施できる代替試験法として全セラミック釘または先端Niチップ付きセラミック釘を用いた方法³⁾が提案されている。しかし、セラミック釘を用いた試験では短絡後に釘位置を保持し続けるためラミネート形電池において短絡後に電池が膨張しやすく、FISC試験に対して短絡層数（正極合材と負極合材間のセパレータを貫通した数）が増加する傾向にある⁴⁾という課題があった。

そこで、先端Niチップ付きセラミック釘刺し試験において、FISC試験より容易に実施でき、かつラミネート形電池において単セルの膨張に影響しない代替試験を考案し、本手法の妥当性を検証した。IEC 62660-3のFISC試験を実施することにより、本手法の妥当性を評価したので報告する。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV研究部

2. 試験方法

実施した試験は、IEC62660-3準拠のFISC試験、先端Niチップ付きセラミック釘刺し試験において、短絡後1時間釘を固定し続ける従来手法及び短絡から30秒後に釘の固定を解除する新手法の3つである。以下、各試験について説明する。

2.1 FISC 試験

充電状態 (State of Charge. 以下, SOCという) 0%に放電した単セルを 20 ± 5 °CのAr雰囲気中のグローブボックス内で解体し、電極体の最外部のセパレータと正極合材をめくり、正極合材と負極合材の塗工部の間の中央へFig. 1に示すL字のNi片を入れ、巻き戻した後にポリエチレンバッグに封入する。この作業を30分以内に実施する。その後SOC100%に充電して、Ni片挿入部へ10 mm × 10 mmの亚克力製角柱の圧子を降下させて、短絡が生じるまで圧力を印加し続ける。短絡と同時に圧子を停止させ、30秒後に圧子を上方へ移動させることにより加圧を止めて1時間観察する。

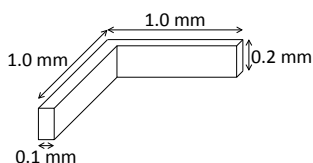


Fig. 1 Schematic view of Ni particle

2.2 先端 Ni チップ付きセラミック釘刺し試験

(1) 釘固定 (従来手法)

SOC100%に充電した単セルを 20 ± 5 °C環境に置き、単セルの中央に釘を降下させてゆき、短絡が生じた後、釘をその位置で固定したまま1時間観察する。試験に使用した釘をFig. 2に示す。

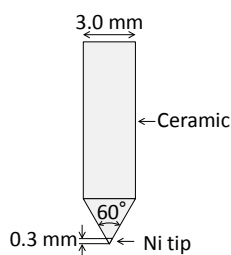


Fig. 2 Schematic view of ceramic nail with Ni tip

(2) 釘固定解除 (新手法)

(1)の条件に対して、短絡後に釘をその位置で保持し、エアーチャックを用いて短絡から30秒後に釘の固定を解除する。これにより、釘先端のNiチップは短絡部に留まりながら、単セルの膨張とともに上方へ移動する。なお、この釘の固定時間の30秒はFISC試験の圧力印加時間を参考に決定した。釘刺し試験の概略図をFig. 3に示す。

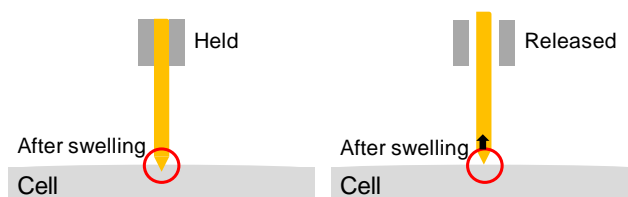


Fig. 3 Comparison of the nail tests after cell swelling

2.3 試験条件

圧子または釘を降下させる速さは0.05 mm/s、停止条件は2 mV以上の電圧降下が計測された時点とし、電圧の測定周期は1 kHz、計測時間は2 mV以上の電圧降下から1時間とした。電池電圧のほか、電池表面温度、雰囲気温度、釘降下速度、釘にかかる荷重を測定した。試験中の事象を1時間観察した後単セルを放電し、その後、解体して短絡層数を数えた。短絡層数は、正極合材と負極合材の間のセパレータを貫通するごとに1層とした。評価対象として、Table 1に示す容量約2～10 Ahの6種類の単セルを用いて各試験を3回以上実施した。

Table 1 Tested cells

Cell	Cell type	Capacity(Ah)
A	Laminate	Approx. 10
B	Laminate	Approx. 10
C	Laminate	Approx. 10
D	Cylindrical	Approx. 3
E	Cylindrical	Approx. 2
F	Prismatic	Approx. 5

3. 試験結果及び考察

3.1 事象及び短絡層数

短絡層数の平均値の結果をFig. 4に示す。FISC

試験は、事象が全て発熱であり、短絡層数の平均値は1層程度、ラミネート形電池と非ラミネート形電池による短絡層数の差は殆ど認められなかった。先端Niチップ付きセラミック釘で短絡から30秒後に釘の固定を解除する手法では、事象は円筒形電池Dで1回発火に至ったものの、他は全て発熱であり、短絡層数の平均値及びばらつきはFISCより1層程度多いだけであった。一方、釘を固定し続けた場合、事象は全て発熱であったものの、ラミネート形電池の短絡層数の平均値及びばらつきはFISCに対して3層程度多く、また、非ラミネート形電池の短絡層数の平均値及びばらつきは1層程度多かった。なお、ばらつきの違いはあるものの、非ラミネート形電池では釘固定の有無による短絡層数の差はなかった。

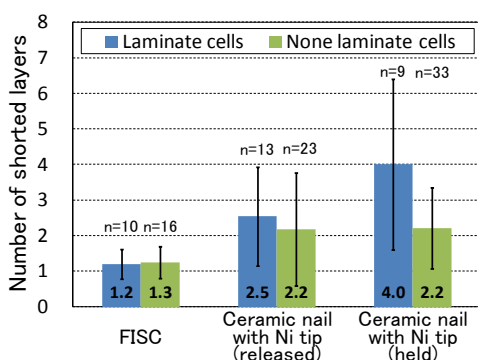


Fig. 4 Results of number of shorted layers

試験結果の例として、ラミネート形セルAにおけるFISC及び先端Niチップ付きセラミック釘刺し試験の結果をFig. 5～Fig. 7に示す。ここで0分は2 mV以上の電圧低下を検知し、短絡したと判断した時点である。これらの結果より、短絡から30秒後に釘の固定を解除する手法は、FISCに酷似した電圧や温度履歴になっているのに対して、短絡後釘を固定し続ける手法は大きく異なる。理由としては、短絡によって単セルの内圧が上昇して電池が膨張し、さらに釘に電池が刺さって発熱したためと考えられる⁴⁾。そのため、他の手法では1層短絡であるのに対して、この手法では4層短絡に至っている。これらの結果は一例であるが、主にラミネート形電池では同様の理由で、短絡層数が増加する傾向になったと考える。

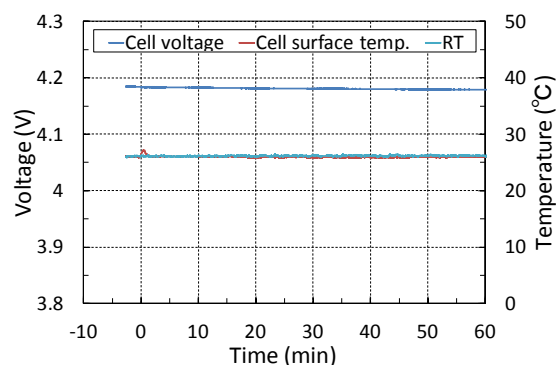


Fig. 5 Examples of the FISC test results (1 layer short)

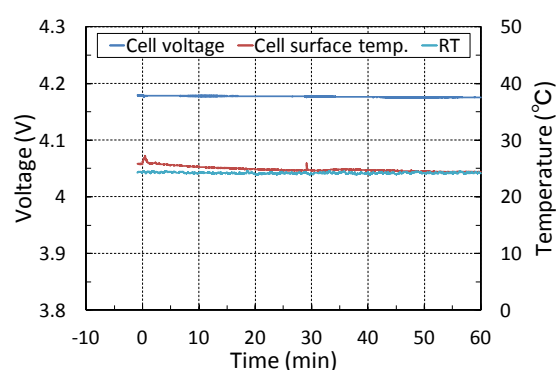


Fig. 6 Examples of nail test results (nail was released, 1 layer short)

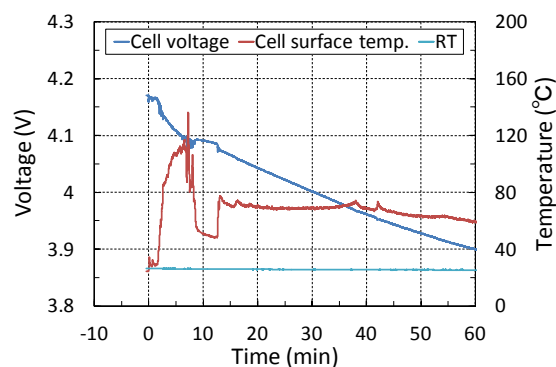


Fig. 7 Examples of nail test results (nail was held, 4 layers short)

3.2 円筒形電池の発火原因

円筒形電池Dにおいて、1回発火に至った原因を考察する。円筒形電池Dは、短絡直後の電圧降下が1 mV～460 mV程度の時、事象は発熱、短絡層数は1層または2層であり、電圧降下が1080 mVのときは発火に至った。円筒形電池Eの場合、短絡直後の電圧降下の値が3 mVまでは1層短絡、

66 mV を超えると多層短絡となった。

円筒形電池において、電圧降下が大きい場合は、例えば円筒形電池 D で発火した結果を Fig. 8 に示すように、釘が停止する瞬間に釘へかかる荷重は急激に下がる場合が多い。それに対して、電圧降下が小さい場合は、例えば円筒形電池 D で発熱した結果を Fig. 9 に示すように、荷重は緩やかに下がっていた。このことから、円筒形電池を釘で押していき、釘が外装材を貫く場合は、荷重が急減するとともに、外装材に押されていた電極体が元の位置に戻ろうとするため、多層短絡に至る。よって電圧降下が大きくなる場合は、局所的に発熱して発火に至る場合があると考えられる。一方で、釘が外装材を突き破らない場合は、荷重は大きく変化せず、電極体に浅く釘が刺さったままで留まっているため、最大でも 2 層短絡になる。したがって電圧降下が小さく事象が発熱になると考えられる。

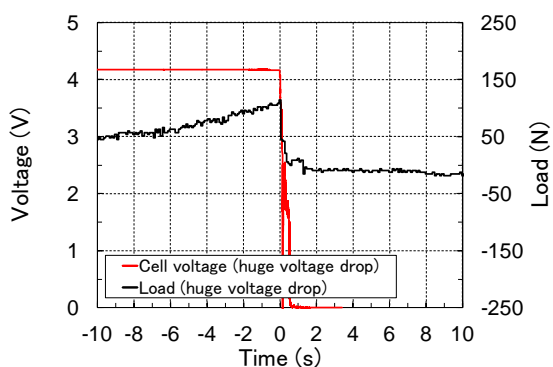


Fig. 8 Comparison of cell voltages and loads in the case of huge voltage drop

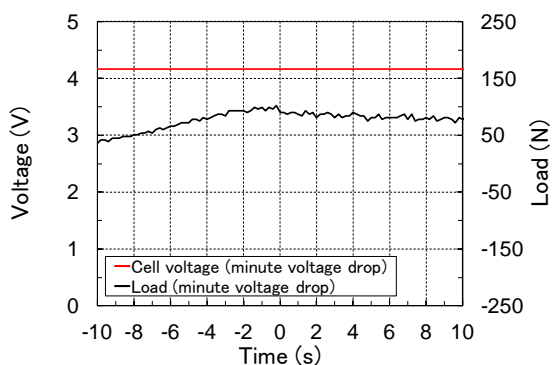


Fig. 9 Comparison of cell voltages and loads in the case of minute voltage drop

すなわち、円筒形電池において、短絡層数が増えた原因や事象の違いの原因は、釘刺し時に釘が外装材を貫通するか否かの違いによるものであると考えられる。

4. まとめ

FISC試験より容易に実施でき、かつラミネート形電池において単セルの膨張に影響しない代替試験を検討するために、先端Niチップ付きセラミック釘刺し試験において、短絡から30秒後に釘の固定を解除する手法を行うとともに、IEC 62660-3のFISC試験を実施することにより、その妥当性を評価した。その結果、釘を固定する従来手法よりも短絡から30秒後に釘の固定を解除する新手法のほうが、短絡層数の平均値及びそのばらつきが低減するとともに、FISC試験よりも安全かつ容易に実施できることがわかった。

また、円筒形電池の釘刺し試験において、通常より短絡層数が増えた原因や事象が発火に至った原因は、釘刺し時に釘が外装材を貫通するか否かの違いであると考えられる。よって釘刺し試験を円筒形電池に適用するには、さらなる検討が必要である。

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) より委託を受けて実施しました。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) SAMSUNG NEWSROOM : <https://news.samsung.com/global/infographic-galaxy-note7-what-we-discovered> (2017.1.1)
- 2) International Electrotechnical Commission : IEC 62660-3 (2016.08)
- 3) International Electrotechnical Commission : IEC TR 62660-4 (2017.02)
- 4) 高橋昌志, 前田清隆 : 第56回電池討論会講演要旨集, 1M05 (2015)