

自動車用リチウムイオン電池の水没時の挙動

Immersion Characteristics of Lithium-Ion Batteries for Vehicles

高橋 昌志*¹ 前田 清隆*¹ 中川 翔馬*¹
 Masashi TAKAHASHI Kiyotaka MAEDA Shoma NAKAGAWA

Abstract

We performed immersion tests of battery packs for electric vehicles using tap water and salt water to confirm the safety when an electric vehicle was submerged such as in floods. The discharge current during the immersion tests in saltwater immersion exceeded that for tap water due to the difference in electric conductivity. However, there was no ignition or explosion. Therefore, the battery should remain safe even if water flows into the battery pack.

1. はじめに

電動車両用蓄電池は高電圧を有しているため、例えば洪水や津波などで泥水や海水中に水没した場合には、水の導電率が高いと水中で放電現象が起き、電流が流れる。もし、大電流が流れた場合には、ジュール熱の発生によって電池の温度が高くなり、その後電池の自己発熱による熱暴走が起これば、電池自体が発火したり破裂するなどの危険事象が発生する可能性がある。電動車両用蓄電池の水没試験が規定されている規格として、中国規格QC/T 743 (EV用リチウムイオン電池) や米国規格SAE J2464¹⁾、SAE J2929²⁾などがあり、いずれも発火、破裂の無いことが適合条件となっている。

電動車両用蓄電池の水没試験に関して、これまでに公開された情報はほとんど無く、実際に危険事象などが発生するか不明であった。そこで、本報では実際に電動車両用蓄電池を用いて水没試験を行い、どのような事象が起こるか調査したので、その結果を報告する。

2. 試験方法

試験用電池として、定格容量および定格電圧の異なる3種類の電動車両用リチウムイオン電池パック(パックA, B, C)を使用した。なお、パ

ックC, B, Aの順に定格容量が大きく、また定格電圧が高い。試験時の電池パックの状態は、パック内に確実に水が浸入するように、パックケースの上蓋を取り外して試験を行った。試験条件をTable 1, 試験概略図をFig. 1に示す。試験用の水は、淡水による水没を想定した水道水と海水を想定した塩水(濃度3.5%NaCl)の2種類とし、水道水による試験ではパックA, B, Cの3種類、塩水による試験ではパックA, Bの2種類を使用した。パックの充電状態はSOC(State of charge)100%とし、水容積はパックが完全に水没する量である750Lとした。試験方法としては、初めに空のアクリル製水槽にパックを設置し、予め水供給タンクに溜めておいた水道水または塩水を約250L/minの速度で水槽内に注水し試験を開始した。なお、所定の水量750Lの注水は約3分で完了するため、パックが完全に水没までの時間は3分以内である。試験終了条件としては、水没試験が規定されているSAE J2464などを参考として、電池パックを水没させてから最低2時間とし、それ以降は温度上昇が無くなるまで、または気泡発生などの反応が停止するまでとした。なお、水道水による試験では、発生ガスの成分を確認する目的で、水槽に蓋を設けて半密閉状態とし、試験中に水槽内の気層部に滞留した発生ガスを捕集して成分を分析した。なお、塩水による試験では、蓋

*1 一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV研究部

を外して開放状態として試験した。試験に使用した水の導電率は、水道水が約15mS/m、塩水が約5,500mS/mである。

計測項目は、水温度、パック内モジュール温度、最も電位の高い端子部の温度 (Fig. 2) およびパック電圧とした。

Table 1 Immersion test conditions

	Water type	
	Tap water	Salt water (3.5% NaCl)
Battery pack	A,B,C	A,B
SOC	100%	
Water temp.	Room temp. (Initial water temp. at 11 to 18 °C)	
Water volume	750L (completely submerge the pack)	

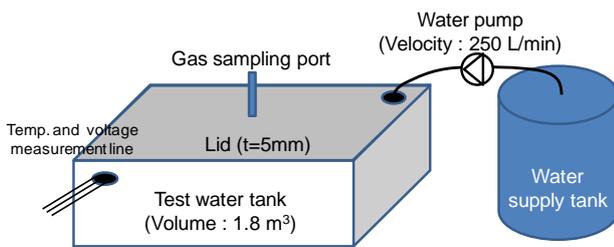


Fig. 1 Schematic of immersion test (in case of tap water)

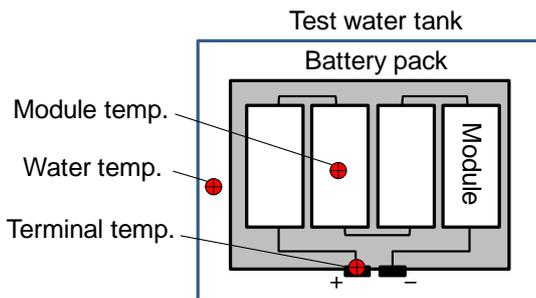


Fig. 2 Temperature measurement points

3. 試験結果

3.1 水道水

パック A, B, C の温度および電圧維持率を Fig. 3 に示す。

水没直後、パック A では断続的に小さな気泡が静かに発生した。パック B および C では、パック A よりも若干大きい気泡が断続的に発生した。い

ずれのパックも、試験開始から 2 時間経過後に温度変化がほとんど見られなかったことから、試験を終了した。試験開始 2 時間後の温度は、接続端子付近が 22~30°C 程度、水温は 19~22°C 程度となった。2 時間後の電圧維持率は、パック A が 97.7%、パック B が 98.2%、パック C が 97.8% となった。

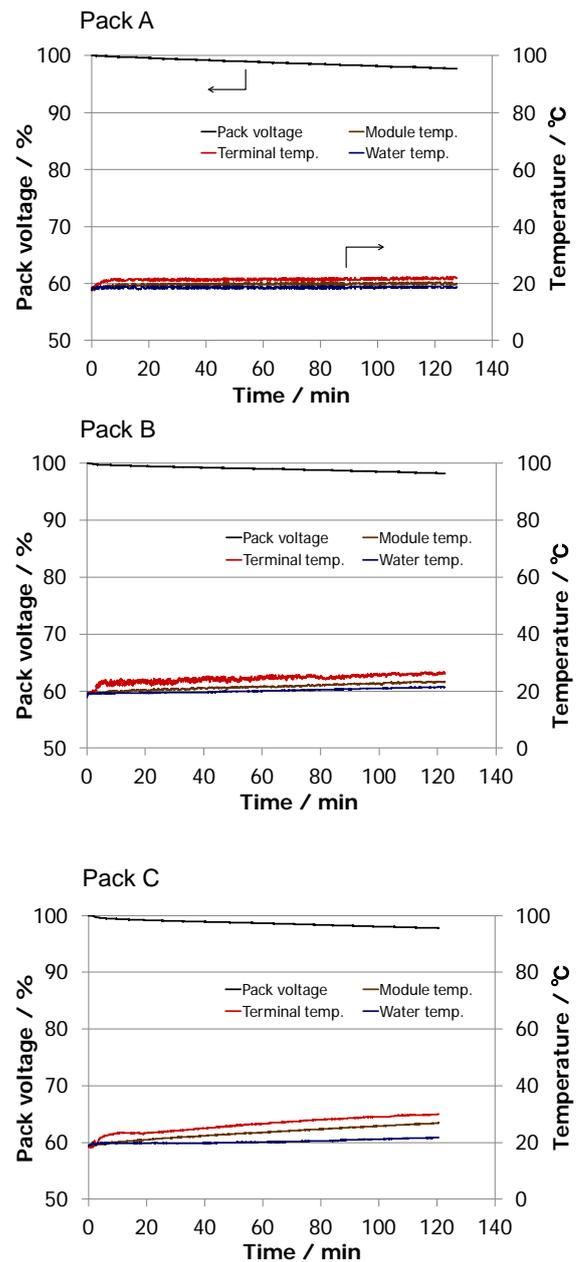


Fig. 3 Pack voltage and temperature of each measurement points in tap water

通常の大気中での操作により定電流放電したときの電圧降下の傾きと、水没時の電圧降下の傾きを比較した結果、水没時の放電によって流れる電

流は、0.05～0.1 ItA（reference test current）程度の定電流放電と同等であることがわかった。これにより、水道水による水没時には、非常に小さな電流しか流れていないことを確認した。また、ガス分析の結果、発生したガスは水の電気分解による水素および酸素のみであった。なお、発火、破裂等の危険事象は発生しないことを確認した。

注水直後および2時間後の水槽写真をFig. 4に示す。パックAでは2時間後に水が若干白濁していたが、パックBでは黄色に変化していた。水の変色は、パックに使用されている金属製のバスバー等が、電気分解（電極での化学反応）により水中に溶出した影響である。パックAよりもパックBのほうが電圧が高く、かつ容量が大きいいため、電気分解が促進されて水への金属の溶出量が増加し、より濃く変色したものと考えられる。

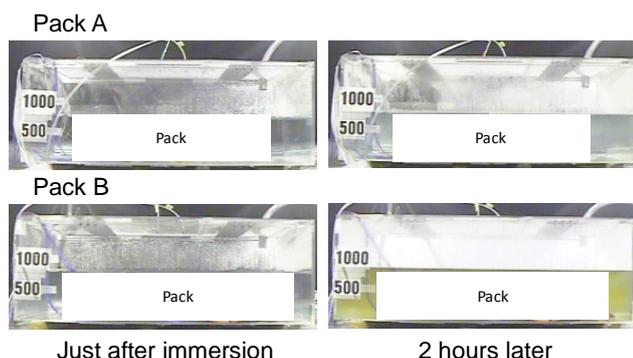


Fig. 4 Change in color of tap water before and after immersion test

3.2 塩水

パックA、Bの温度および電圧維持率をFig. 5に示す。

パックA、Bともに水没後、直ちに気泡が発生し、気泡の発生量は時間とともに減少した。水道水と比較して、気泡の発生量は多くなった。いずれのパックも試験開始2時間後で、温度変化がほとんど見られなかったことから試験を終了した。

パックAでは、接続端子付近の温度は試験開始5分後に最高80℃程度となった。水温は、35分後に最高16℃となったが、その後上昇は見られなかった。電圧維持率は、約8分後に50%となり、2時間後に約5%となった。パックBでは、接続端子付近の温度は試験開始50秒後に最高94℃程度となった。水温は27分後に最高31℃程度となったが、

その後上昇は見られなかった。電圧維持率は、約11分後に50%となり、約50分後に0%となった。なお、水温はパックケース外側の側面直近の温度を計測したが、パック内の端子部が高温となってもこの部分の水温は上昇しなかったことから、ケースを外さない限り人が高温となった水に接触することはない。電圧降下の傾きから推察すると、水没時の放電によって流れる電流は、5～10 ItA程度と考えられる。なお、水道水による試験と同様に発火、破裂等の危険事象は発生しないことを確認した。

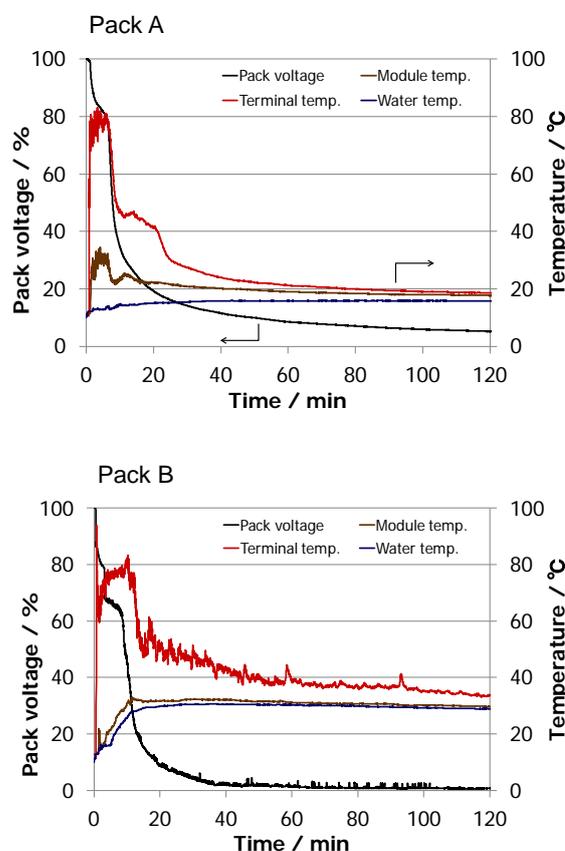


Fig. 5 Pack voltage and temperature of each measurement points in salt water

注水直後および2時間後の水槽写真をFig. 6に示す。パックAでは2時間後に水が黄色に変化していたが、パックBでは水没直後に黄色になり、2時間後には黒色に変化した。塩水は水道水よりも導電率が高く、水没時に放電で流れる電流が大きくなるため、電気分解が促進されて水への金属の溶出量が増加した影響で、より濃く変色したものと考えられる。

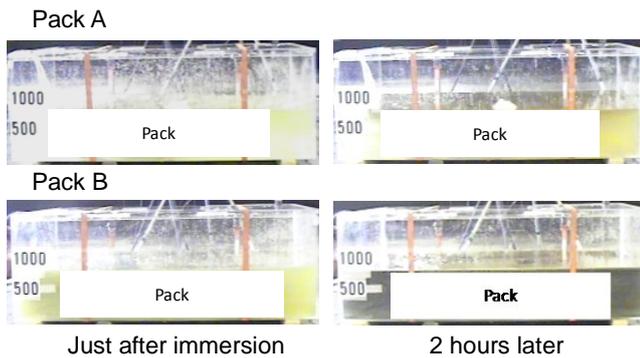


Fig. 6 Change in color of salt water before and after immersion test

4. まとめ

電動車両が洪水などで水没した際の安全性を確認するため、電動車両用電池パックを用いて、水道水および塩水による水没試験を実施した。試験によって得た結果を以下に記載する。

- ・水道水による試験では、試験開始2時間後の水温度は 22°C 以下となった。水没時の放電電流は $0.05\sim 0.1\text{ ItA}$ 程度と推察され、低電流しか流れないことを確認した。試験中に発生したガスは、水の電気分解による水素と酸素の生成のみであることを確認した。さらに、発火、破裂等の危険事象は発生しないことを確認した。
- ・塩水による試験では、約8～10分後に電圧維持率が50%となり、水道水と比較して大電流が流れる結果となった。しかし、試験中計測した水温度は最高で 31°C 程度と低く、水道水による試験と同様に発火、破裂等の危険事象は発生しないことを確認した。
- ・試験後の水は黄色や黒色に変色した。パックに使用されている金属製のバスバー等が、電気分解により水中に溶出した影響である。なお、パック内単セルの開裂や、単セル内からの電解液の漏洩などは発生しなかった。
- ・水道水と塩水の導電率の違いにより、塩水のほうが放電時に大電流が流れたが、発火、破裂等の危険事象は発生しなかった。このことから、電動車両水没時に、もしパック内に水が浸入しても、安全性は保たれることを確認した。

水没試験の必要性に関しては、例えば単セルの試験規格であるIEC 62660-2³⁾では、短絡抵抗 $5\text{m}\Omega$ による外部短絡試験が規定されているが、短絡抵抗とセル電圧から推察すると、水没試験よりも外部短絡試験のほうが、より大きな電流が流れ、厳しい試験となる。このことから、水没試験を実施しなくても、外部短絡試験を行うことにより、単セル、およびその単セルを使用したパックの水没時の発火や破裂に対する安全性は確認可能であると考えられる。

また、洪水や津波などによって自動車火災が発生した事例が報告されているが、電動車両以外の12Vバッテリーを搭載した車両でも火災は発生している。原因は、車両から水が引いた後に、腐食によって短絡が発生したり、電気系統部分に残った水により短絡が発生することなどが挙げられる。電動車両は高電圧のバッテリーを有しているため、火災が発生した際には特に注目されるが、洪水や津波などによる火災のリスクは、上記原因を考慮すると、電動車両以外の自動車と同様に扱う必要があると考える。

参考文献

- 1) SAE J2464, Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System (RESS) Safety and Abuse Testing, 2009-11-06
- 2) SAE J2929, Safety Standard for Electric and Hybrid Vehicle Propulsion Battery Systems Utilizing Lithium-based Rechargeable Cells, 2011-02-18
- 3) IEC 62660-2 ed1.0, Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 2: Reliability and abuse testing, 2010-12-16