

H3 ロケット向けリチウムイオン電池の開発

Development of Lithium-ion Battery for
H3 Launch Vehicle

木 村 隆 志* 道 畑 良 太* 河 村 浩*

瀬 川 全 澄* 綿 貫 健 一**

Takashi Kimura Ryota Michihata Hiroshi Kawamura
Masazumi Segawa Kenichi Watanuki

Abstract

GS Yuasa Technology Ltd. has newly developed high and low voltage system Lithium-ion batteries in order to support the operation of equipment and device installed on the H3 launch vehicle. Based on the expertise and experience accumulated through the past developments of power sources for Japan's launch vehicles, we have drastically succeeded in improving the specific energy of the batteries while maintaining the excellent discharge performance over a wide temperature range. In addition to the superior electrochemical characteristics, the batteries have proved to supply the stable power under the harsh environments of vibrations and shocks while in launch. They will contribute to the success of various transportation missions of the vehicle.

Key words : Lithium-ion battery, H3 Launch vehicle

1 緒言

長きにわたり日本の宇宙への輸送を支えた H-IIA ロケットの後継機として、打ち上げ能力を増強しつつ、年間打ち上げ回数の増加および打ち上げ費用の低減によって国際競争力を飛躍的に向上させる次世代大型基幹ロケット「H3 ロケット」が宇宙航空研究開発機構（JAXA）および三菱重工業株式会社によって開発された。

当社は、H3 ロケットの搭載機器への電力供給およ

び駆動電源として、2 種類のリチウムイオン電池の開発を受託した。その背景には、H-IIA ロケットの 1 号機に酸化銀亜鉛電池を供給したことを皮切りに、その 8 号機から現在に至るまで、高品質および高信頼性のリチウムイオン電池を供給して数々の輸送ミッションの成功に貢献したこと、そして価格競争力が高く評価されたことが挙げられる。この報文では、2 種類の電池の特性の詳細を紹介する。

なお、2024 年 2 月 17 日に本電池を搭載した H3 ロケットが打ち上げられ、衛星の分離が正常に行われたことから、電池がその役割を果たしたことを実証した。

* (株) ジーエス・ユアサ テクノロジー

特殊・大型リチウムイオン電池本部 技術部

** 三菱重工業（株）

2 仕様と特長

2.1 仕様

今回、高電圧および低電圧系の 2 種類のリチウムイオン電池を開発した。打ち上げ直後の上昇を担う第 1 段ロケットおよび衛星を正常な軌道に乗せる第 2 段ロケットに搭載される様々な機器の消費電力に対応できるように、高電圧および低電圧系電池が組み合わされて利用される。2 種類の電池の外観を Fig. 1 に示す。また、それらの概略仕様を Table 1 に示す。

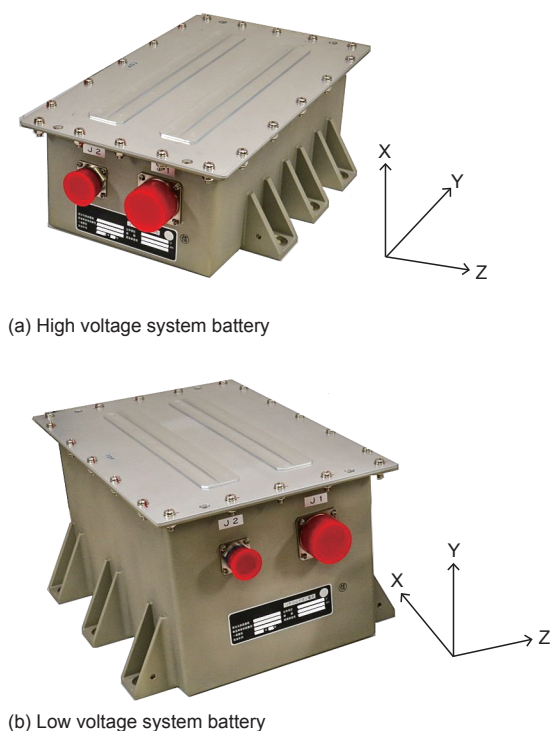


Fig. 1 Outer appearance of batteries for H3 launch vehicle.

Table 1 Specifications of Lithium-ion batteries for H3 launch vehicle.

Battery	High voltage system	Low voltage system
Rated capacity / Ah	12	84
Dimensions		
Width / mm	380	393
Depth / mm	270	306
Height / mm	129.8	205.3
Mass / kg	12.6	23.7

2.2 特長

2.2.1 高エネルギー密度化

(1) 高電圧系電池

高電圧系電池に搭載されるセルは、ロケット共通リチウムイオン電池¹に採用した 10 Ah 級セルの優れた放電性能を維持しつつ、構造を軽量化して高エネルギー密度化を達成したものである。さらに、アルミニウム合金製の電池ケースの軽量化を図るために、打ち上げ環境条件を考慮した応力の応答解析結果をもとにして、可能な限りケース底面の肉盗みをおこなった。その結果、質量エネルギー密度は、類似設計品であるロケット共通リチウムイオン電池と比較して 66% 向上した。

(2) 低電圧系電池

低電圧系電池に搭載されるセルは、H-IIA ロケット高度化用リチウムイオン電池²に採用した 80 Ah 級セルをもとにして、端子構造および極板設計を最適化することにより、同じサイズで高容量化を実現したものである。さらに、高電圧系と同様の手法を用いて電池ケース底面の肉盗みをおこなった。その結果、質量エネルギー密度は、類似設計品である H-IIA ロケット用電池と比較して 64% 向上した。

2.2.2 優れた放電性能

(1) 高電圧系電池

高電圧系の電池は、幅広い温度範囲での放電が求められる。電池を 20℃ にて多段階の定電流方式で充電した後、低温および高温での放電を実施した。その結果を Fig. 2 に示す。特定の放電容量到達時に負荷の集中を模擬したパルス放電を実施したところ、低温条件下でさえ機器の作動に必要な電力を供給できることがわかった。このように低温から高温までの幅広い温度域に対して、優れた放電性能を有しているといえる。

また、熱解析結果をもとにして放電時のセルの発熱による温度上昇を考慮すると、セルは最大使用温度よりもさらに +26℃ の環境にさらされる可能性がある。その温度でのセルの放電試験を実施した結果を Fig. 3 に示す。放電電圧およびセル温度の異常は計測されなかった。このように極高温の条件下でも運用に対応できることを明らかにした。

(2) 低電圧系電池

低電圧系電池を 20℃ にて多段階の定電流方式で充電した後、低温および高温で放電した結果を Fig. 4 に示す。図より、いずれの温度でも定格容量以上の放電が可能であり、温度依存性が小さいことがわかる。

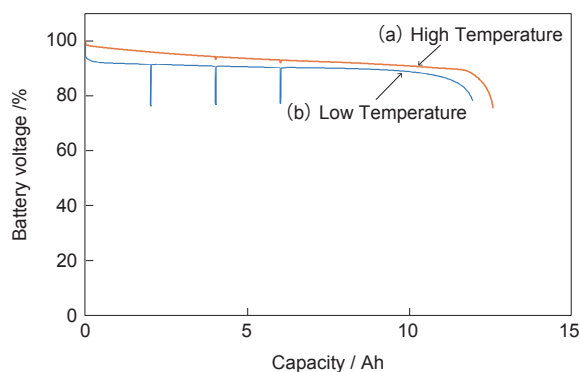


Fig. 2 Discharge performance of high voltage system battery at high and low temperature. The battery was charged at multiple constant currents until one of the cells reached 4.00 V at 20°C. It was then discharged until one of the cells decreased to 3.00 V. At the depth of discharge of 16.7% (only low temperature), 33.3% and 50%, a large pulse current was applied.

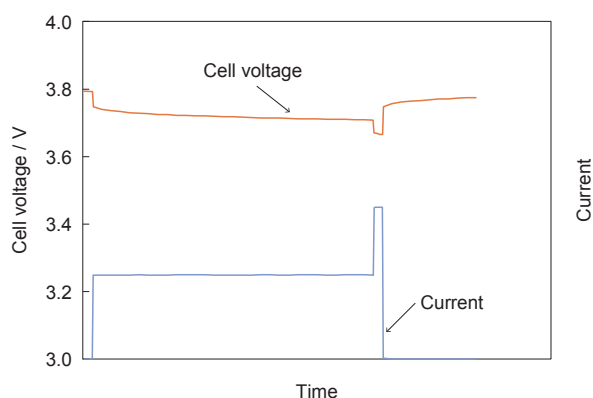


Fig. 3 Representative discharge performance of the 12 Ah cell for high voltage system battery at the highest temperature expected. The cell was discharged for 30 seconds from the state of charge of 46.3%. At the depth of discharge of 50%, a large pulse current was applied.

特定の放電容量到達時に負荷の集中を模擬したパルス放電を実施したところ、低温条件下でさえ機器の作動に必要な電力を供給できることがわかった。高電圧系電池と同様に、低温から高温までの幅広い温度域に対して、優れた放電性能を有しているといえる。

また、高電圧系電池と同様に、放電時のセルの発熱による温度上昇を考慮すると、セルは最大使用温度よりもさらに +18°C の環境にさらされる可能性がある。その温度でのセルの放電試験結果を Fig. 5 に示す。高電圧系と同様に放電電圧およびセル温度に異常は計測されず、極高温の条件下でも運用に対応できることを

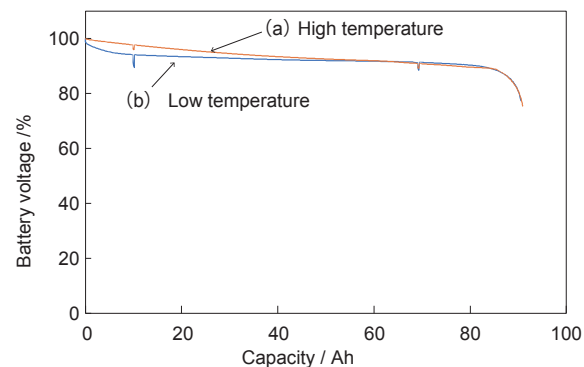


Fig. 4 Discharge performance of low voltage system battery at high and low temperature. The battery was charged at multiple constant currents until one of the cells reached 4.10 V at 20°C. It was then discharged until one of the cells decreased to 3.00 V. At the depth of discharge of 11.9% and 82.1%, a large pulse current was applied.

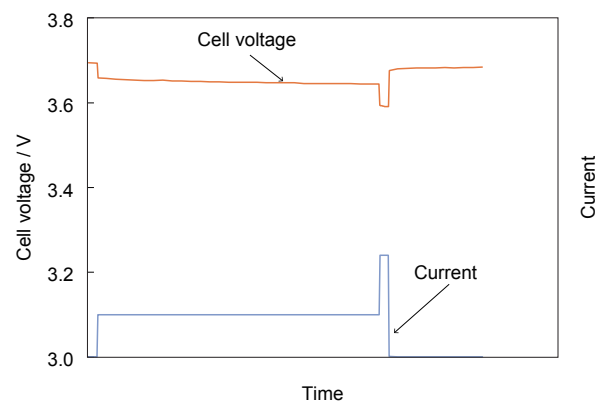


Fig. 5 Representative discharge performance of the 84 Ah cell for low voltage system battery at the highest temperature expected. The cell was discharged for 30 seconds from the state of charge of 81.6%. At the depth of discharge of 82.1%, a large pulse current was applied.

明らかにした。

2.2.3 優れた機械的環境性能

ロケットの打ち上げでは、極めて高レベルの機械的環境に電池がさらされる。これらの環境に耐えることを証明するために、ランダム振動および衝撃の環境試験を実施した。試験では一定電流で電池を放電させながら、Fig. 1 に示す各軸方向の環境負荷を印加した。

(1) ランダム振動

セルの内部構造が共振しやすく最も厳しい Y 軸方向への振動印加時の高電圧系および低電圧系電池の放電電圧挙動を、それぞれ Fig. 6 および Fig. 7 に示す。図より、いずれの電池でも放電電圧の低下は滑らかで

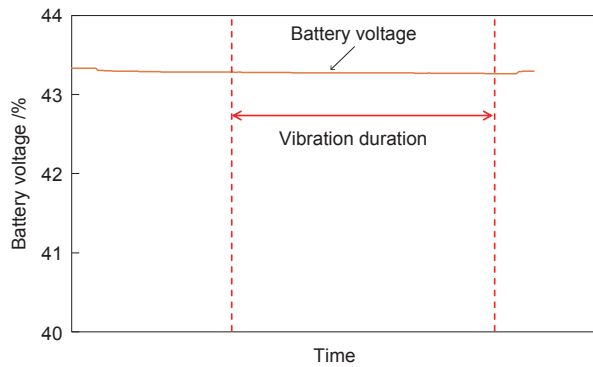


Fig. 6 Representative discharge voltage profile for high voltage system battery during Y-axis random vibration test. The vibration was imposed to the battery while it was discharged at room temperature.

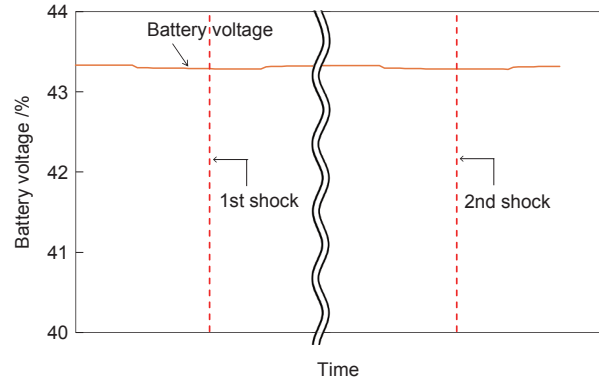


Fig. 8 Representative discharge voltage profile for high voltage system battery during shock test. Multiple number of shocks was imposed to the battery while it was discharged at room temperature.

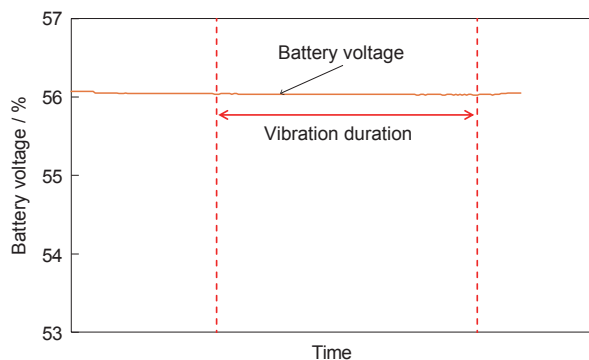


Fig. 7 Representative discharge voltage profile for low voltage system battery during Y-axis random vibration test. The vibration was imposed to the battery while it was discharged at room temperature.

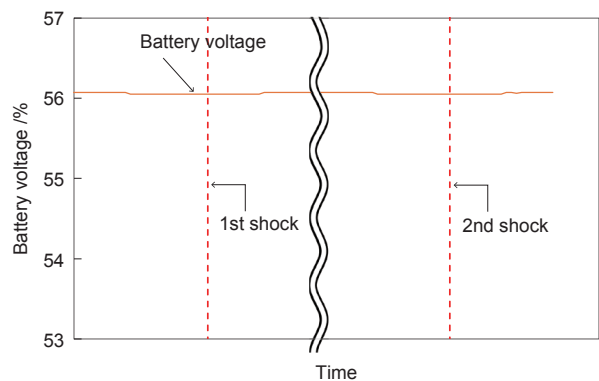


Fig. 9 Representative discharge voltage profile for low voltage system battery during shock test. Multiple number of shocks was imposed to the battery while it was discharged at room temperature.

あり、環境印加の影響は受けなかったものといえる。なお、X 軸および Z 軸でも振動中の放電電圧に特異な変動は観測されなかった。

(2) 衝撃

高電圧系および低電圧系の電池に衝撃を印加した時の電圧挙動をそれぞれ Fig. 8 および Fig. 9 に示す。図より、いずれの電池でも放電電圧の低下は滑らかであり、環境印加の影響は受けなかったものといえる。

(3) 環境試験印加後の検査

試験後に各電池からセルを取り出して AC インピーダンスを測定したところ、環境印加前後に変化がないことを確認した。この結果から、セルの集電構造に異常がないことが推測された。さらに、セルの内部構造を X 線検査で確認したところ、構造変形はいっさい観測されなかった。以上の結果より、本電池が打ち上げ環境に十分耐えることが確認された。

3 結言

H3 ロケットの搭載機器への電力供給および駆動電源として、2 種類のリチウムイオン電池を開発した。これらは、幅広い温度で優れた放電性能を発揮する。さらに、振動および衝撃に対する耐環境性に優れていることを証明した。今後も、高性能なリチウムイオン電池を開発・供給することにより、宇宙輸送産業の発展に貢献していく。

4 謝辞

H3 ロケット向け電池の開発において、ご指導をいただいた JAXA および三菱重工業株式会社関係者各位に謝意を表する。

参考文献

1. Ryota Michihata, Tomotaka Ueda, Hiroaki Yoshida, Yoshiaki Namikawa, *GS Yuasa Technical Report*, **11** (1), 14 (2014).
2. Ryota Michihata, Kazuyoshi Ohara, Tomotaka Ueda, Yoshiaki Namikawa, Kenichi Watanuki, and Chikara Ishikawa, *GS Yuasa Technical Report*, **13** (1), 9 (2016).