

ロケット共通リチウムイオン電池の開発

Development of Lithium-ion Battery for Launch Vehicles

道 畑 良 太* 上 田 朋 孝* 吉 田 浩 明* 並 河 芳 昭*

Ryota Michihata Tomotaka Ueda Hiroaki Yoshida Yoshiaki Namikawa

Abstract

GS Yuasa Technology Ltd. has newly developed 14 V and 28 V class Lithium-ion batteries with the capacity of 10 Ah in order to meet the demands of high environmental durability, superior discharge performance and less maintenance for launch vehicles. The batteries have proved that they supply the stable power under the harsh environments such as random vibration of 29.8 Grms and strong shock of 1,000 G. They are also capable of delivering almost the same discharge capacity at wide temperature range from -1 to 55 °C. Furthermore, they enable the reduction of additional charging works at the launch site because of the low self discharge. In terms of these superior characteristics, they are also expected to be one of the most reliable power source candidates for the other future launch vehicles.

Key words: Lithium-ion battery; Launch vehicle

1 緒言

当社は 1970 年代より各種ロケット（N ロケット，H-2，H-2A/B，M-V 等）の搭載機器用電源として高性能・高品質な電池を提供しており，日本のロケット開発の一役を担ってきた。その過程において，一部の電源に当初は酸化銀-亜鉛電池およびニッケル・カ

ドミウム電池を供給してきたが，運用の利便性向上および環境保護の観点から，近年ではリチウムイオン電池への置き換えを実施してきた。その成果を評価され，今回，イプシロンロケット**に搭載可能なロケット共通リチウムイオン電池の開発を受託し，2013 年に完了した。

この電池の単電池には，当社で開発済みの高性能な 10 Ah 級リチウムイオン電池¹を適用しており，耐環境性能および放電性能に優れた電池の開発に成功したので，その特性を紹介する。

なお，2013 年 9 月 14 日に，本電池を搭載したイプシロンロケットの初号機が打ち上げられ，衛星が無事に軌道投入されたことから，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・リチウム電池本部 技術部

** イプシロンロケットは独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）および(株)IHIエアロスペースによって開発された高性能と低コストの両立を目指す新時代の固体燃料ロケットである。

2 特長と性能

2.1 特長

「ロケット共通リチウムイオン電池」の外観図と内部構造図を Fig. 1, Fig. 2 に、その仕様を Table 1 に示す。本電池の代表的な特長を以下に示す。

(1) 高い汎用性

電池内部の単電池間の配線を変更することにより 8 直列に接続した 28 V 系仕様 (Fig. 1) および 4 直列で 2 出力が可能な 14 V 系仕様 (Fig. 2) の 2 種類を供給できる設計としている。機器の作動電圧に対応して、それぞれの電池を利用できることから、イプシロンロケットのみでなく、その他のロケットにも展開可能な汎用性の高い設計である。

Table 1 Specifications of Lithium-ion battery.

Items	28 V system	14 V system
Rated capacity / Ah	10	10
Nominal voltage / V	28.8	14.4
Operating voltage range / V	22.0 - 32.0	11.0 - 16.0
Dimensions	Width / mm	255
	Depth / mm	199
	Height / mm	190
Mass / kg	9.0 or less	9.0 or less

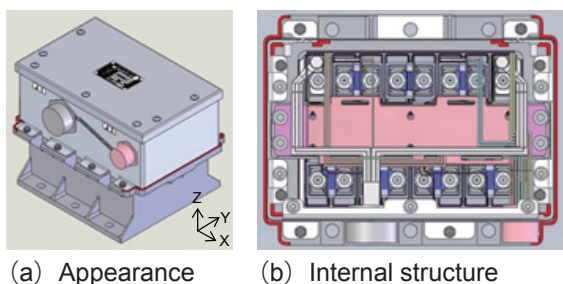


Fig. 1 Outer appearance and internal structure of 28 V system Lithium-ion battery.

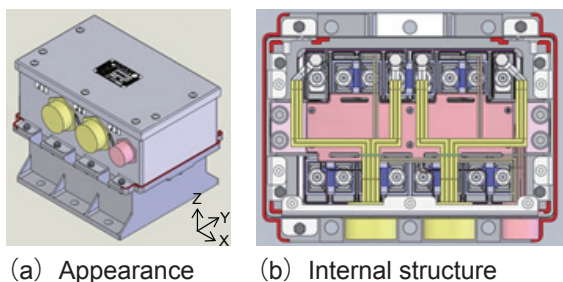


Fig. 2 Outer appearance and internal structure of 14 V system Lithium-ion battery.

(2) 優れた機械的環境性能

たとえば、自動車用リチウムイオン電池は約 51 G (ISO12405 : 2012), 航空機用リチウムイオン電池は約 40 G (MIL-STD-810D : 1983) の衝撃要求に対して、ロケット共通電池にはそれらの約 20 倍も高い 1,000 G もの衝撃に耐えることが要求されている。そこで、本電池は単電池の固定方法を工夫することにより、機械的環境性能を向上させている。その結果、衝撃だけでなく、29.8 Grms という厳しい振動下でも安定した作動が可能である。

(3) 作動温度領域の広さ

-1 °C から 55 °C という低温から高温環境で優れた高率放電性能を発揮する。

(4) 自己放電量が小さい

自己放電が小さいため、長期保管時の容量低下が小さい。そのため、一度充電すると、ロケットの射場に配備されてから打ち上げまで長期にわたり再充電の必要がなく、従来までの電池に比べて運用面に優れる。

2.2 性能の詳細

ここでは、2.1 項で示した特長の詳細を、試験結果をもとに説明する。

2.2.1 放電性能

28 V 系電池を温度 25 °C にて多段階の定電流方式で満充電後に、-1, 25 および 55 °C で 1 CA 放電を実施した。その結果を Fig. 3 に示す。図より、低温時の分極が小さく、-1 °C においても 25 °C 放電時の 99% の容量を放電できることがわかる。すなわち、この電池は幅広い温度範囲において、優れた放電性能を維持できるといえる。

2.2.2 機械的環境性能

設計当初から、電池に衝撃を加えると、コネクタを

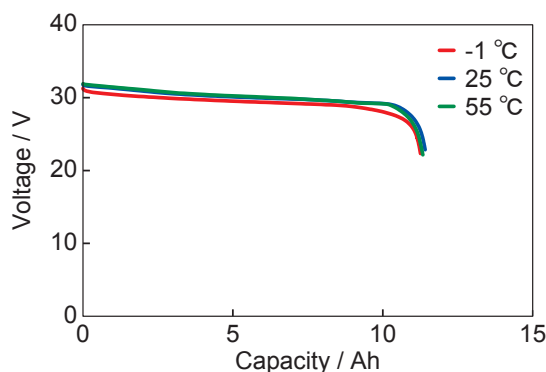


Fig. 3 1 CA discharge performance of 28 V system battery at wide range of temperature.

保持する外装ケース枠等の荷重が電池ケース上部のねじ穴に集中することが想定されたため、ねじの径を最適化した。Table 2 に示す試験環境下での応力解析をおこない、設計の妥当性を確認した。その一例として、もっとも電池に対して厳しい条件となる +X 軸方向に衝撃を加えたときの、発生応力分布を Fig. 4 に示す。解析は、電池ケース下部のねじ穴を拘束しておこなった。図より、電池ケース上部のねじ穴近傍に応力が集中していることがわかる。その部材の許容応力は 245 MPa であり、最大応力である 181 MPa に対して、約 26% の余裕があり、1,000 G の衝撃に耐えると判断できる。本解析は、その他の環境条件でも実施しており、電池が規定の環境に耐えることを確認した。また、単電池の固定方法を工夫することにより、機械的環境性能の向上をはかった。

つぎに、電池を各環境下で、安定して電力を供給できるか否か、電池ケースなどが機械的環境に耐えるか否かを下記の方法により評価した。28 V 系電池を 2 A で放電しながら正弦波振動、ランダム振動、衝撃および加速度を印加したときの電圧の推移を、それぞれ Fig. 5 ~ 7 に示す。図は代表として X 軸 (+X 軸) に振動等を印加したときのものである。図より、いずれの場合も放電にともなう自然な電圧低下を除き、特異な変動がないことがわかる。また、試験後の電池の外観に変形がないことを確認した。

Table 2 Mechanical environmental test level.

Environment	Level
Sinusoidal vibration	X,Y,Z axis : Max 13.4 G
Random vibration	X,Y,Z axis : 29.8 Grms
Shock	± X, ± Y, ± Z axis: Max 1,000 G
Acceleration	± X, ± Y, ± Z axis : 21.8 G

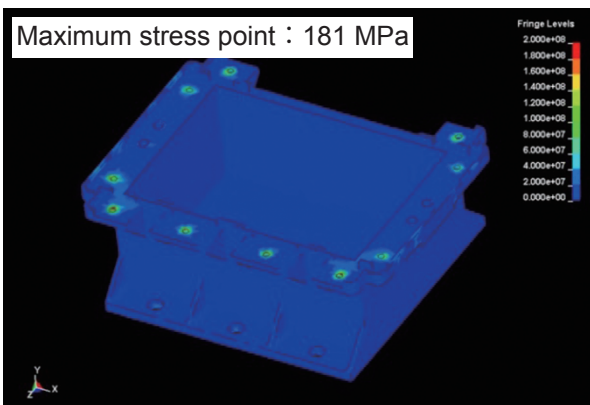


Fig. 4 Shock stress analysis result for the battery.

2.2.3 熱衝撃性能

電池構成部品の周囲温度変化に対する耐性を評価するために、熱衝撃試験をおこなった。高温 (65 °C)

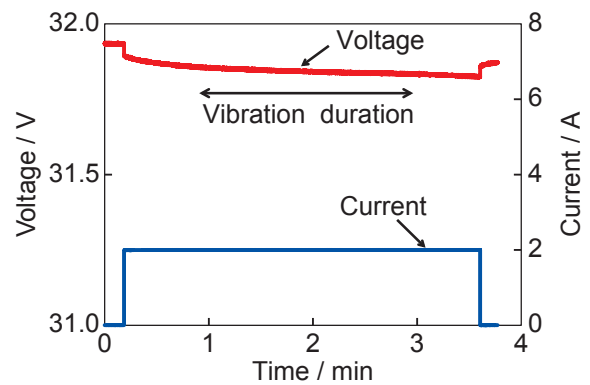


Fig. 5 Representative voltage profile for 28 V system battery during X-axis random vibration test.

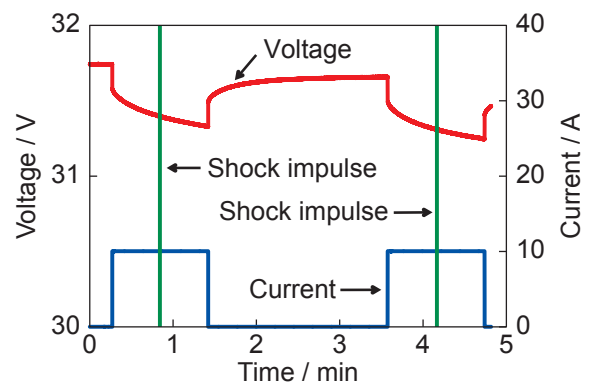


Fig. 6 Representative voltage profile for 28 V system battery during +X-axis shock test.

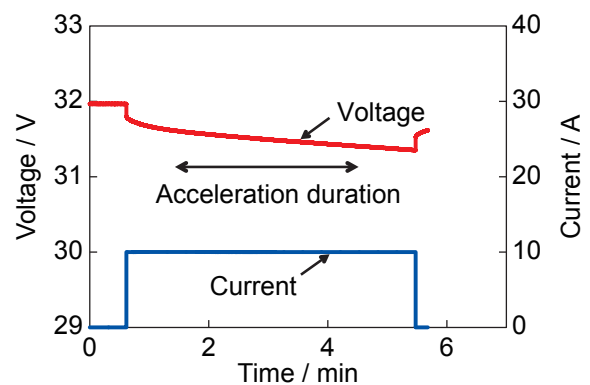


Fig. 7 Representative voltage profile for 28 V system battery during +X-axis acceleration.

および低温（ -11°C ）の温度変化を繰り返したときの電圧挙動を Fig. 8 に示す。試験条件をつぎに示す。

- (1) 25°C で多段階の定電流方式で電池を満充電にした。
- (2) 電池の周囲温度を1時間以内に 65°C に昇温して、1時間放置した。周囲温度がほぼ平衡に到達したところで、 10 A の放電を5分間実施した。
- (3) つぎに、電池の周囲温度を1時間以内に -11°C に降温して、1時間放置した。周囲温度がほぼ平衡に到達したところで、 10 A の放電を5分間実施した。
- (4) (2) および (3) を1サイクルとし、それらを3.5サイクル実施した。

Fig. 8 より、放電とともに OCV（Open-circuit voltage）が変化していることがわかる。5分間の放電時の分極は環境温度が低くなるほど、低下するものの、 -11°C の低温下においても、放電できることがわかる。本試験での放電容量は 5.8 Ah であり、試験後の OCV は 30.4 V であった。類似設計の電池と比較しても、同等の放電深度時の OCV は 30.3 V であり、熱衝撃試験による電池の劣化もみられないことがわかる。すなわち、本電池はロケット用途で想定される幅広い温度範囲において、電池の部品が故障することなく、安定して電力を供給することができる。

2.2.4 長期保管特性

長期間放置後の残容量を確認するために、 38°C での保管試験を実施した。その結果を Fig. 9 に示す。図より、常温より高い 38°C の環境下に電池がさらされても、たとえば 10 Ah の容量を下回るのは11週間後であることがわかる。一度充電をおこなうと長期間に渡り再充電の必要がなく、運用面で優れた電池であるといえる。

3 結言

イプシロンロケットに搭載可能なロケット共通リチウムイオン電池を、 10 Ah 級のリチウムイオン電池を用いて開発した。この電池は、使用機器の作動電圧に応じて、単電池間の配線を変更することにより、 14 V 系および 28 V 系の2種類の電圧を供給できる設計としている。また、振動、衝撃および温度に対する耐

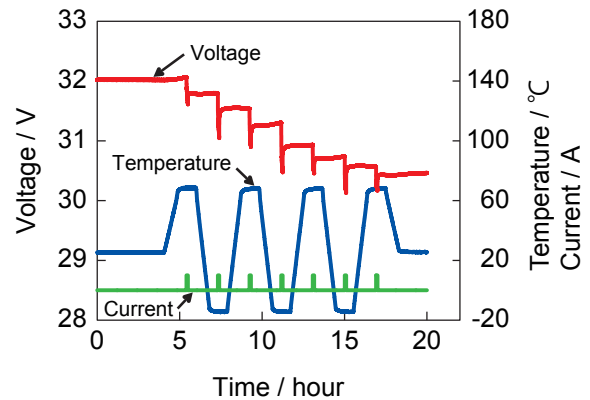


Fig. 8 Representative voltage profile for 28 V system battery during thermal shock test.

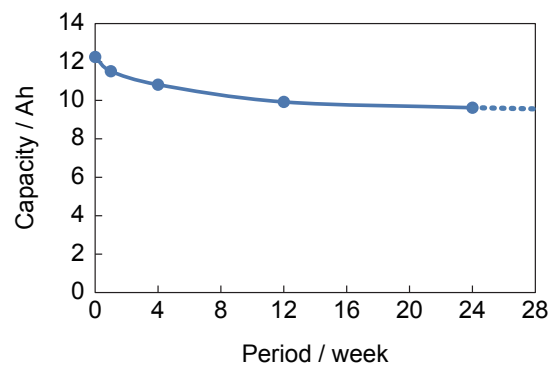


Fig. 9 Changes in remaining discharge capacity during long term storage of 38°C .

環境性に優れている。さらに、 -1°C から 55°C の幅広い温度で、優れた高率放電性能を発揮するとともに、自己放電が小さく、再充電作業の負担を軽減できる。このように優れた特性を示すことから、電池は様々なロケットの打ち上げミッションにも対応できる。今後も、高性能なリチウムイオン電池の開発を進めて、日本のロケット産業に貢献していく。

文献

1. J. Ueda, Y. Ishida, T. Shizuki, and T. Sonoda, *GS Yuasa Technical Report*, **7** (1), 14 (2010).