

# H-IIA ロケット高度化仕様向け リチウムイオン電池の開発

## Development of Lithium-ion Battery for H-IIA Upgrade

道 畑 良 太\* 大 原 和 義\* 上 田 朋 孝\*  
並 河 芳 昭\* 綿 貫 健 一\*\* 石 川 主 税\*\*\*

Ryota Michihata Kazuyoshi Ohara Tomotaka Ueda  
Yoshiaki Namikawa Kenichi Watanuki Chikara Ishikawa

### Abstract

GS Yuasa Technology Ltd. has newly developed Lithium-ion battery for H-IIA Upgrade launch vehicle. The rated capacity was increased from 40 Ah to 80 Ah in order to meet a longer flight time of the vehicle. In spite of doubling the capacity, the mass increase of only 24% was successfully achieved by the optimization of cell and battery structure. The battery also shows very small self-discharge and superior discharge performance in the wide temperature range. Furthermore, the battery is of course able to supply power stably under the harsh launch environments.

*Key words:* Lithium-ion battery, Launch vehicle

## 1 緒言

人工衛星の主な軌道はおおきく分けると2種類ある。1つは高度約400 kmの低軌道であり、国際宇宙ステーションなどが地球上を1日約16回周回している。もう1つは、高度約36,000 kmの静止軌道であり、気象衛星や通信衛星などが地球の自転とほぼ同周期で

周回している。

H-IIA ロケットによる静止軌道衛星の打ち上げでは、地上約300 kmの高度で衛星が第2段機体から分離される。そこから、衛星は自身に搭載された燃料を消費して静止軌道まで飛行する必要がある。

この燃料消費を軽減するために、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の「基幹ロケット高度化プロジェクト」によってH-IIA ロケット高度化仕様（H-IIA Upgrade）（以下、高度化仕様）が開発された。従来と比べて衛星をより静止軌道に近い軌道に投入できる。その結果、衛星のより長期の運用が可能になる。また、削減できる燃料質量分をセンサの大

\* (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

\*\* 三菱重工業(株)

\*\*\* 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

型化などの機能向上にわりあてることも可能になる。

当社は、H-IIA ロケットの1号機に酸化銀-亜鉛電池を供給したのを皮切りに、2006年8号機からはリチウムイオン電池を供給している。高度化仕様では、2段目機体のミッション時間延長にともなう必要電力量の増加に対応するために、新たに80 Ah級リチウムイオン電池を開発した。本文ではその特性を紹介する。

なお、高度化仕様は、2015年11月24日に打ち上げが成功しており、電池がその役割を果たすことを実証した。

## 2 高度化仕様の概要と電池への要求

従来のH-IIA ロケットは、近地点高度200～300 km (Fig. 1の①) 付近に衛星を投入していた。高度化仕様では、衛星をより静止軌道に近い軌道 (Fig. 1の②の位置) に投入する事で、静止衛星打ち上げにおいて、衛星が静止軌道到達に必要な増速量の低減、衛星の長寿命化に貢献できる。

## 3 仕様と特長

### 3.1 仕様

高度化仕様に必要な電池容量を既存のH-IIA ロケットに使用されている40 Ah単電池 (LFC40) の設計をもとに検討すると、定格容量として97 Ahが必要となる。そこで、JAXA コンポーネントに登録された<sup>1</sup>高性能宇宙用リチウムイオン電池の電極設計を利

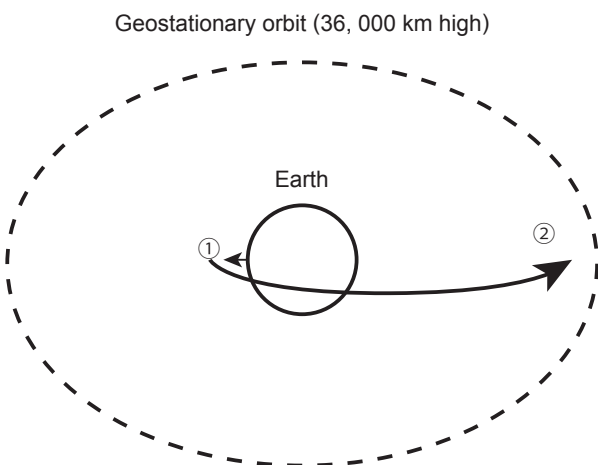


Fig. 1 An image of geostationary satellite transportation by H-IIA Upgrade.

用することにより、打ち上げまでの保管にともなう容量低下の抑制を狙った。その結果、80 Ahのサイズで対応できることをあきらかにした。この単電池 (LFC80) を用いて開発した組電池 (以下、本組電池) および従来のH-IIA ロケット用組電池の外観を Fig. 2 に示す。また、それぞれの概略仕様を Table 1 に示す。

いずれの組電池も単電池の8セル直列接続構成であるが、前者は容量が2倍になっているにもかかわらず質量増加は24%に抑えた。

### 3.2 特長

本組電池の代表的な特長を以下に示す。

#### (1) 軽量化

LFC40のケースの材質にはステンレススティールを用いていたが、LFC80ではアルミニウム合金を採用した。さらに組電池の余剰空間の省略を徹底することにより本組電池の軽量化を実現した。

#### (2) 放電性能

本組電池は広い温度範囲で良好な放電性能が求められる。温度25℃にて定電流定電圧充電方式で満充電にした後に、5、25および50℃で0.2 CA放電を実施



Fig. 2 Outer appearance of battery.

Table 1 Specifications of Lithium-ion battery for H-IIA Upgrade and heritage H-IIA.

Items	H-IIA Upgrade	H-IIA
Number of cell	8	8
Rated capacity / Ah	80	40
Dimensions		
Width / mm	400	379
Depth / mm	305	230
Height / mm	207	205
Mass / kg	23.0	18.5

した。これは、当社独自の充放電試験条件である。その結果を Fig. 3 に示す。図より、5℃においても 25℃放電時の 99.8% 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。

(3) 貯蔵寿命性能

本組電池の打ち上げ前の貯蔵環境における最悪条件での容量低下を確認するため、単電池を用いてつぎのとおり試験を実施した。

常温において 4.1 V まで多段定電流方式により充電した単電池を高温で 30 日間貯蔵した。その後、常温に戻して放電容量を測定した。さらに、同一条件で充電し、貯蔵せずにつづいて放電することで自己放電の影響を排除した放電容量を測定した。これらのプロセスを 3 回繰り返した。

Fig. 4 に放電容量の推移を示す。図より 90 日後の容量保持率は 97% であることがわかる。貯蔵劣化の原因は、負極材表面の SEI (Solid Electrolyte Interface) 成長にともなうリチウムイオンの消費によるものと考えられており、貯蔵劣化量はつぎの計算式で求められる<sup>2)</sup>。

$$\text{貯蔵劣化} = kf \times \sqrt{\text{貯蔵日数}}$$

$$\text{ただし、} kf = kf_0 \times (1 - \text{貯蔵劣化})^{2.4}$$

$kf_0$  は寿命初期における貯蔵劣化係数

図より、計算結果および試験結果がよく一致することがわかる。

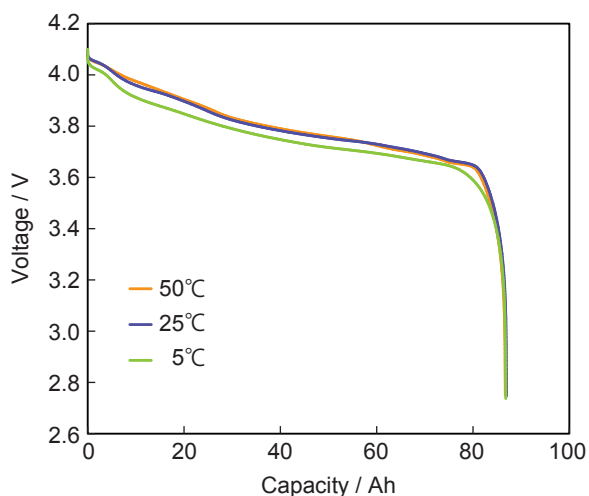


Fig. 3 Discharge characteristics of LFC80 cells at wide range of temperature. The cells were discharged at 0.2 CA after charged at 0.5 CA to 4.1 V followed by constant voltage for 3 hours in total.

つぎに、Fig. 5 に各貯蔵期間 30 日間の平均自己放電率の推移を示す。図より、平均自己放電率は最初の 30 日間がもっとも大きく 0.15%/日であり、その後、徐々に低下することがわかる。

実力容量の低下と自己放電率を考慮した結果、運用要求を満足する事を確認した。

(4) 機械的特性

ロケット打ち上げにおけるさまざまなフェーズで発生する振動や衝撃に耐えるように、単電池の固定方法および組電池筐体設計を最適化している。

そのことを確認するために、下記の (i) ~ (iii)

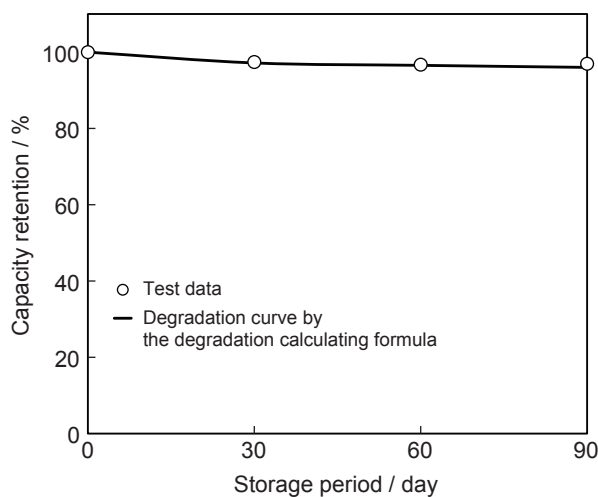


Fig. 4 Changes in capacity retention caused by high temperature storage.

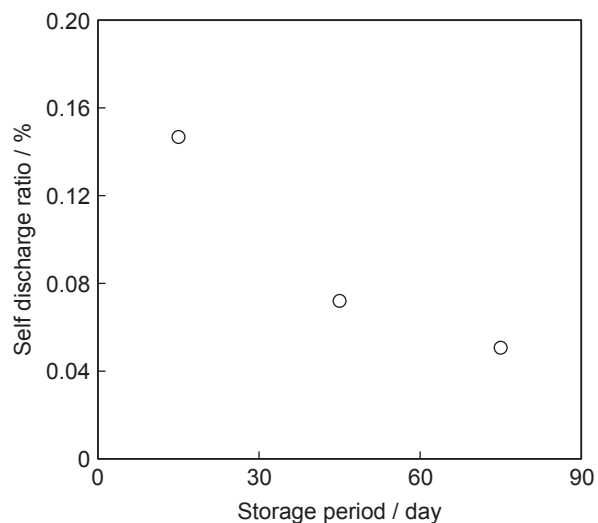


Fig. 5 Changes in monthly average self-discharge ratio at high temperature for LFC80 cells.

の順に環境試験を実施した。各試験では、一定電流で本組電池を放電させながら Fig. 2 に示す X,Y および Z の 3 軸に環境を印加した。各試験のレベルは、実際に想定される条件よりも数倍高いものである。

- (i) 正弦波振動, ランダム振動
- (ii) 衝撃
- (iii) 準静的加速度

Fig. 6~9 に代表として、それぞれの環境印加時 (X 軸) の本組電池の電圧挙動を示す。図より放電電圧の低下は滑らかであり、環境印加の影響はないことがわ

かる。また、試験後の本組電池および単電池の構造に異常がないことを確認した。以上の結果より、本組電池が打ち上げ環境に十分耐えることが確認された。

#### 4 結言

高度化仕様の運用に対応できる電気特性および耐環境性に優れた 80 Ah 級のリチウムイオン組電池を開発した。

今後も、高性能リチウムイオン電池の開発を進めて、航空・宇宙および特殊用途産業の進展に貢献していく所存である。

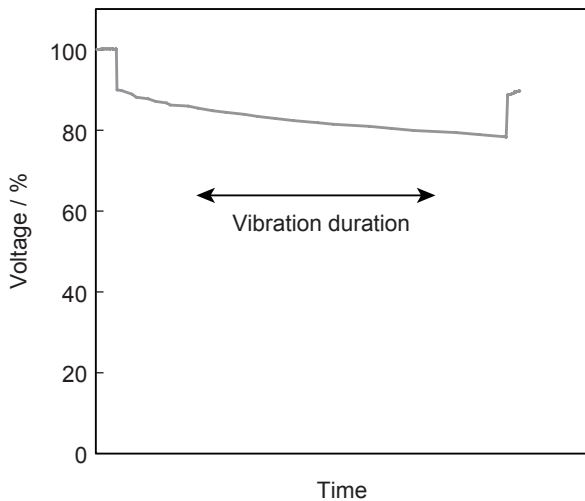


Fig. 6 Voltage profile for H-IIA Upgrade battery during X-axis sine wave vibration test.

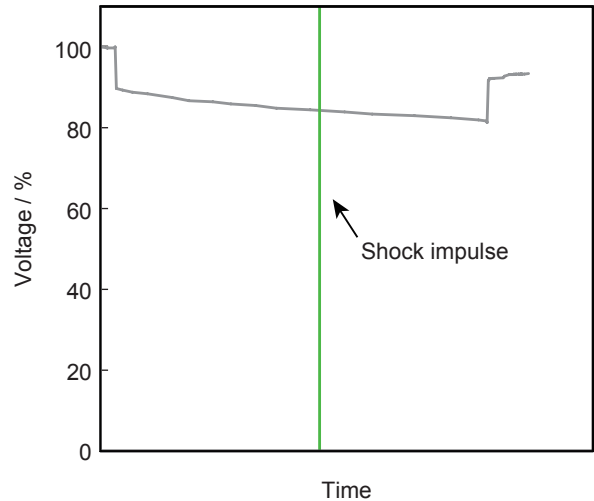


Fig. 8 Voltage profile for H-IIA Upgrade battery during +X-axis shock test.

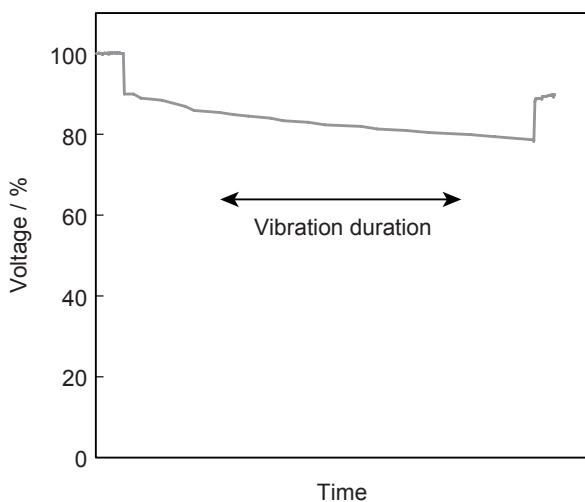


Fig. 7 Voltage profile for H-IIA Upgrade battery during X-axis random vibration test.

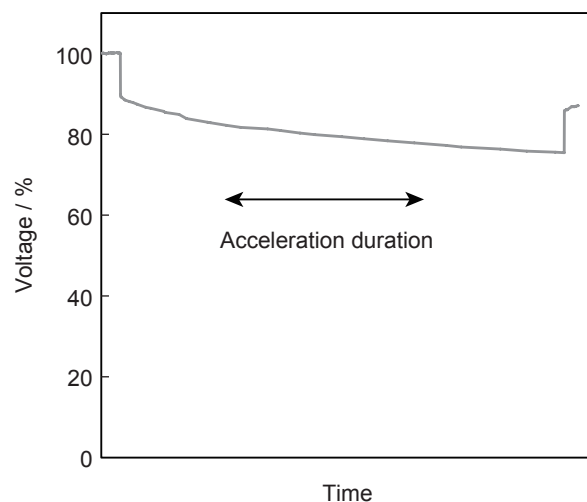


Fig. 9 Voltage profile for H-IIA Upgrade battery during +X-axis acceleration test.

## 5 謝辞

高度化仕様向け組電池の開発は、JAXA 殿からの契約に基づき三菱重工業株式会社殿より当社が受注したものである。この開発において、ご指導をいただいた JAXA 第一宇宙技術部門 基幹ロケット高度化プロジェクト関係者各位、ならびに三菱重工業株式会社関係者各位に謝意を表す。

## 文献

1. Yuta Kagami, Tadatsugu Yamamoto, Nobutaka Imamura, Masazumi Segawa, Yoshiaki Namikawa, Hiroaki Yoshida, Makoto Kawase, Tetsuya Ojima, and Hitoshi Naito, *GS Yuasa Technical Report*, **12** (1), 15 (2015).
2. H Yoshida, N Imamura, T Inoue, K Takeda, and H Naito, *Electrochemistry*, **78**(5), 482–488(2010).