

はやぶさ搭載リチウムイオン電池の運用経過 (2)

In-Orbit Operations of Li-Ion Battery Aboard HAYABUSA Spacecraft -Second Report

大登 裕樹 *
Hiroki Ooto

山本 真裕 *
Masahiro Yamamoto

吉田 浩之 *
Hiroyuki Yoshida

江黒 高志 *
Takashi Eguro

Abstract

World's first spacecraft powered with Li-ion battery, that is HAYABUSA, was successfully launched in May 2003 and arrived asteroid Itokawa on Sept. 2005. HAYABUSA accomplished the great feat of the touch-down as well as fruitfully various remote-sensing from 7-20km above the asteroid. Now it is on the way back to the Earth with expectation of dropping its cargo capsule with Asteroid's soil June 2010.

The battery consists of 11 prismatic cells in series with a rated capacity of 13.2 Ah, SOC of which was maintained in a certain controlled range according to battery's calendar degradation of capacity and each cell voltage of which was reset periodically with a cell-by-cell balancing circuit. As a result, the battery performance was maintained consistently with the simulation result, which suggests to prove the correctness of our experiment plan.

1. はじめに

当社は 90 年代後半から宇宙用リチウムイオン電池の研究に着手し、その成果を基に独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部殿の小惑星探査用工学実験探査機「はやぶさ」用リチウムイオン電池を開発した^{1) 2)}。「はやぶさ」は 2003 年 5 月に打ち上げに成功し、当社の宇宙用リチウムイオン電池は世界に先駆けて実用に供され、軌道上での運用による実証を行っている^{3)~5)}。「はやぶさ」は昨年秋に目標とする小惑星「ITOKAWA」に到着し、数週間に亘り小惑星表面の観測（図 1：トピックス p.44 参照）とサンプル採取を行い、地球帰還に向けて運用が続けられている。

本報は既報³⁾に続き、「はやぶさ」用リチウムイオン電池のこれまでの運用実績と、容量劣化シミュレーションに基づいて設計したバッテリー運用パターンによる特性劣化抑制の検証結果を報告する。

更に「はやぶさ」用リチウムイオン電池の開発実績を基に、これを発展させた新たな宇宙用リチウムイオン電池の開発についても紹介する。

2. 「はやぶさ」用リチウムイオン電池の諸元

「はやぶさ」用リチウムイオン電池の諸元を表 1 に、外観を図 2 に示す。「はやぶさ」にはこのリチウムイオン電池を 11 セル直列接続して構成されたバッテリーが搭載されている。

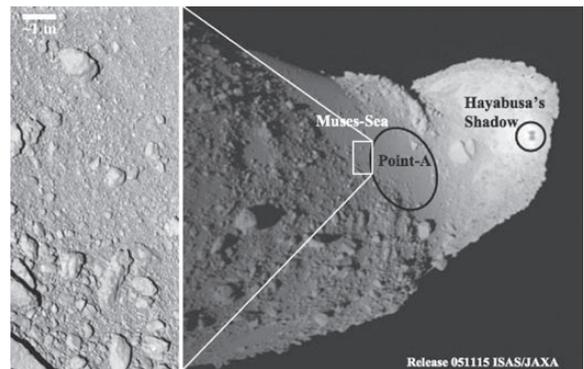


図 1 小惑星イトカワの画像と「はやぶさ」の影
(写真提供 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 殿)
fig.1 An image of asteroid "ITOKAWA" and a shadow of "HAYABUSA"

表 1 「はやぶさ」用リチウムイオン電池の諸元
Table 1 Specification of Li-ion cells for HAYABUSA spacecraft

Rated Capacity (Ah)	13.2
Size W × T × H (mm)	69.3 × 24.4 × 132
Mass (g)	570
Specific Energy (Wh/kg)	> 85
Volumetric Energy (Wh/l)	> 220

* 技術開発本部 いわき開発センター



図2 「はやぶさ」用リチウムイオン電池の外観
fig. 2 External View of 13 Ah Class Li-ion cell for HAYABUSA spacecraft

3. バッテリーの運用シミュレーション

既報³⁾で報告したように、「はやぶさ」搭載バッテリーは、その軽量化要求から、容量劣化を極力抑えるために軌道運行中は搭載バッテリーをその都度必要最低限の充電状態 (SOC) に維持する特殊なパターンの運用を計画し^{6) 7)}、この特殊なパターンの運用による容量劣化シミュレーションによって最小の電池容量設計を行った。図3に容量劣化シミュレーション結果とその期待される効果を示す。

そして搭載バッテリーの軌道上での容量確認試験を実施することで容量劣化シミュレーションの妥当性を確認することとした。

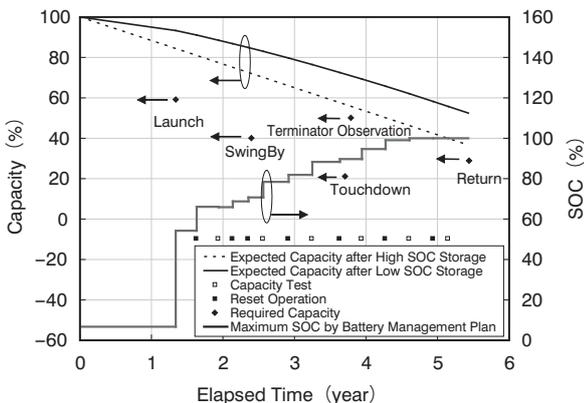


図3 「はやぶさ」搭載バッテリーの運用パターンと容量劣化シミュレーション

Fig.3 SOC and capacity requirements scheduled through the mission and capacity changes simulated for two cases of SOC

加えて、搭載バッテリーと同じロットのリチウムイオン電池により地上モニター用バッテリーを構成し、「はやぶさ」の運用と並行して定期的に容量確

認試験を実施する他、軌道上のオペレーションにおける放電に併せて再現試験を実施することで、軌道上のオペレーションでの搭載バッテリーの特性を地上で予測し、バッテリーの運用、管理に反映させた。

4. バッテリーの運用経過

「はやぶさ」搭載バッテリーの実運用中の電圧と地上モニター用バッテリー電圧の推移を図4に、搭載バッテリーの各セル電圧の推移を図5に示す。

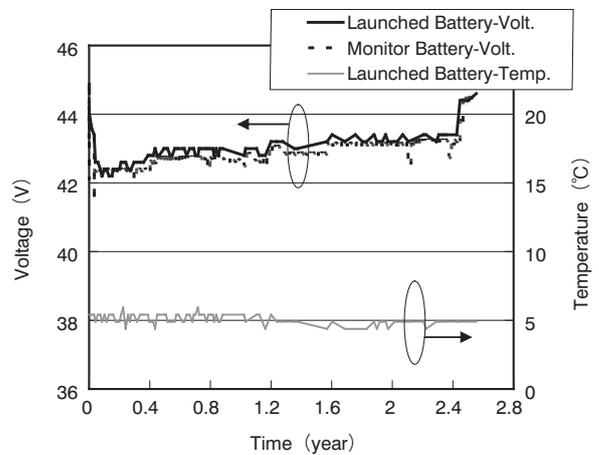


図4 「はやぶさ」搭載バッテリーの電圧の推移
Fig.4 Performance of Li-ion battery in HAYABUSA spacecraft in operation

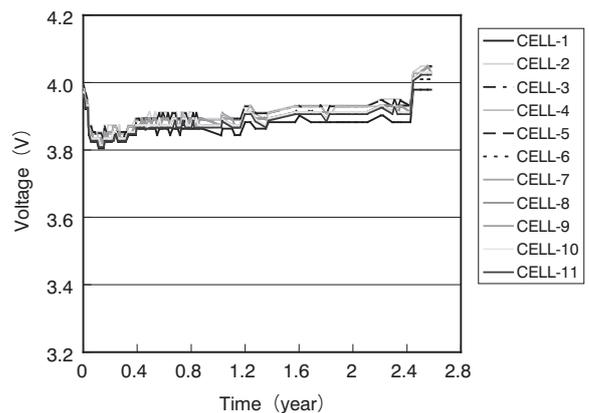


図5 「はやぶさ」搭載バッテリー各セル電圧の推移
Fig.5 Performance of voltages of Li-ion cells in HAYABUSA spacecraft in operation

搭載バッテリーと地上モニター用バッテリーの電圧の推移は概ね一致している。また、各セル間のSOCのバラツキを整えるため、充電バイパス回路によるリセットオペレーションを定期的実施した効果で打上げ以降11個のセル電圧のバラツキは広

がること無く順調に推移している。

5. 容量劣化シミュレーションの検証

容量劣化シミュレーションによる予測を検証する容量確認試験結果を図6に示す。また、搭載バッテリー容量の実測値と期待される設計値との対比を図7に示す。

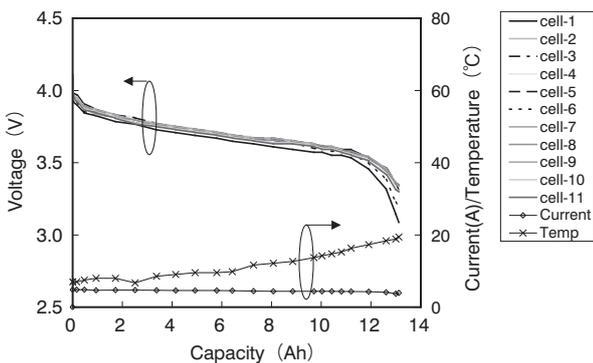


図6 「はやぶさ」搭載バッテリー 容量確認試験
Fig.6 Discharging characteristics of Monitor Li-ion battery in HAYABUSA spacecraft

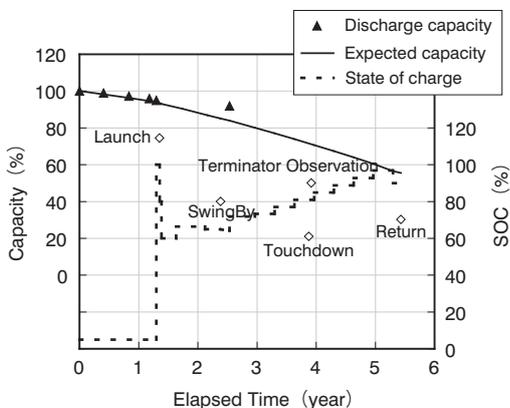


図7 「はやぶさ」搭載バッテリー 容量劣化の推移
Fig.7 Capacity measured and forecast of Li-ion battery in HAYABUSA spacecraft

図から搭載バッテリーの容量劣化は容量劣化シミュレーションによる予測にほぼ従い、若干予測より良好に充放電特性を維持していることが判った。

6. 小惑星オペレーション

ターミネータ観測、タッチダウンの2つのオペレーションにおいてバッテリーの放電が予定されていたが、探査機の電源として働いているSAP(太陽電池パドル)からの電力の供給が充分であった等の理由から放電は行われなかった。そこで予定されて

いた負荷電力条件で搭載バッテリーが十分な性能を発揮し得たかどうかを、地上モニター用バッテリーで想定試験を行い検証した。結果を図8に示す。

想定された最大負荷条件(645W定電力放電、33V終止)で、地上モニター用バッテリーは要求性能を満たすに十分な容量、電圧特性を保持していることが確認できた。

前項の容量劣化シミュレーションの検証結果による比較によれば、搭載バッテリーもまた当初予定されたオペレーションに必要な性能を十分に保持していたと予想される。

このことから本研究の最大の目的である小惑星探査工学実験探査機「はやぶさ」搭載バッテリーの特殊な運用パターンによる容量劣化シミュレーションに基づいた電池容量設計の妥当性が検証された。

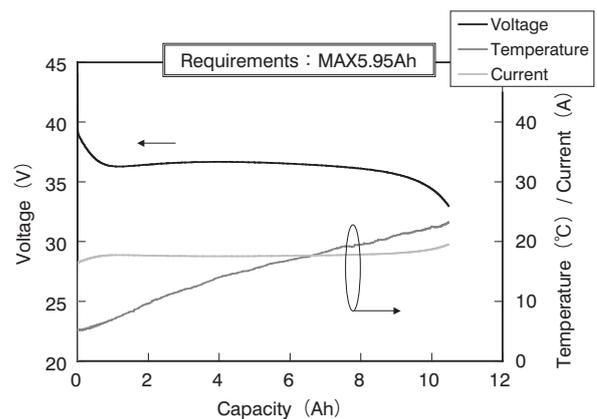


図8 小惑星オペレーションにおける「はやぶさ」搭載バッテリーの予想挙動
Fig.8 Discharging characteristics of Monitor Li-ion battery for the case of asteroid operation in HAYABUSA spacecraft

7. 新たな取組み

我々は「はやぶさ」用リチウムイオン電池の開発実績を基に、以下の課題に取り組んでいる。

- ①電池の大容量化
- ②エネルギー密度の向上
- ③スタンバイ寿命特性の向上
- ④サイクル寿命特性の向上

表2に現在取り組んでいる20Ah級宇宙用リチウムイオン電池(以下、「20Ah級電池」という)と「はやぶさ」用電池との比較を示す。

表2 20Ah 級リチウムイオン電池の諸元
Table 2 Specification of 20Ah-class Li-ion cells

	HAYABUSA	20Ah class
Specific Energy (Wh/kg)	> 85	> 107
Volumetric Energy (Wh/l)	> 220	> 245

「20Ah 級電池」は「はやぶさ」用電池を上回る質量・容積エネルギー密度を得ている。

図9 にサイクル寿命特性の一例を示す。

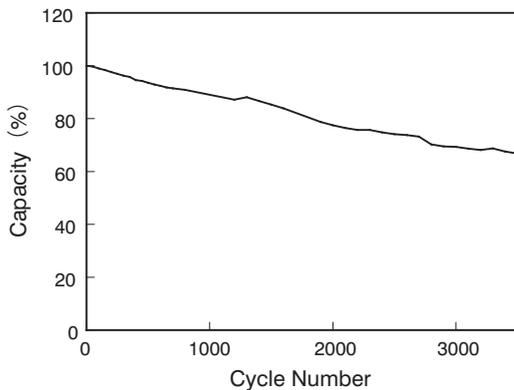


図9 20Ah 級電池の放電深度 100%サイクル寿命特性
Fig.9 Cyclic performance of 20Ah-class Li ion cell

「20Ah 級電池」のフロート充電における容量劣化は、「はやぶさ」用電池の約半分を達成する目処を得ている。

放電深度 100%のサイクル寿命特性は 3000 回以上の性能の目処を得ている。

この「20Ah 級電池」を基に、より大容量、軽量化の要求に応えると共に、サイクルユースとしても供試可能であると期待している。

8. 謝辞

本研究開発は独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部殿の御指導の下で実施している。ここに、御指導、御協力を賜った関係各位に感謝を申し上げます。

(参考文献)

- 1) 山本、大登、高椋、酒井、高橋、廣瀬、田島、宇宙用リチウム 2 次電池 長寿命電池開発と基本特性、第 18 回宇宙エネルギーシンポジウム、47 (1999)
- 2) 山本、高椋、大登、酒井、衛星用リチウムイオン電池の開発、FB テクニカルニュース、No.56、64 (2000)
- 3) 大登、山本、吉田、久保田、江黒、MUSES-C 「はやぶさ」 打上げ成功 !!、FB テクニカルニュース、No.59、64 (2003)
- 4) 大登、山本、吉田、久保田、江黒、はやぶさ搭載リチウムイオン電池の運用経過、FB テクニカルニュース、No.60、18 (2004)
- 5) 曾根、鶴野、広瀬、田島、他、小惑星探査機「はやぶさ」における大容量リチウムイオンバッテリーの軌道上運用、第 46 回電池討論会、530 (2005)
- 6) 大登、山本、酒井、高橋、廣瀬、田島、宇宙用リチウム 2 次電池の開発と基本特性 (2)、第 20 回宇宙エネルギーシンポジウム、11 (2001)
- 7) 山本、大登、江黒、高橋、廣瀬、田島、宇宙用リチウム 2 次電池の開発と基本特性 (3)、第 21 回宇宙エネルギーシンポジウム、1 (2002)