

In-Orbit Performance of NESSIE (NExt-generation Small Satellite Instrument for Electric power system)

Akio Kukita⁽¹⁾, Mio Murashima⁽¹⁾, Masato Takahashi⁽²⁾, Kazunori Shimazaki⁽²⁾, Yuki Kobayashi⁽²⁾, Hiroyuki Toyota⁽¹⁾, Tomohiko Sakai⁽¹⁾, Yu Takahashi⁽¹⁾, Masatoshi Uno⁽³⁾, Yuichi Shibata⁽²⁾, and Mitsuru Imaizumi⁽²⁾

⁽¹⁾ISAS/JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa, 252-8510 Japan

⁽²⁾JAXA, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan

⁽³⁾Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa-cho, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

Abstract:

NESSIE (NExt Generation Small Satellite Instrument for Electric power system) is an in-orbit demonstrator of an aluminum-laminated lithium-ion capacitor (LiC) and space solar sheets (SSS) using thin-film multi-junction (MJ) solar cells that are next generation instruments for electric power subsystem.

LiC has sufficient safety and can operate in a wide temperature range for long periods. In addition, LiC can be rapidly charged and discharged.

Thin-film MJ solar cells such as IMM InGaP/GaAs/InGaAs 3J cells have flexibility as well as high conversion efficiencies relative to conventional rigid 3J solar cells. Using a combination of the thin-film MJ solar cells and light flexible paddles, satellite mass can be greatly reduced.

Since the power supply system is a critical component affecting the life of a satellite, it is difficult to adopt such newly developed elements in satellites as electrical power subsystems. In-orbit demonstrations are, therefore, very important.

NESSIE is installed on SPRINT-A/Hisaki satellite, launched in the September of 2013 by Epsilon launcher from the Uchinoura Space Center.

In this paper, the details and the result of a year and 4 months operation of NESSIE are described.

NESSIE による次世代電源系要素技術の軌道上評価

JAXA 久木田明夫、村島未生、高橋真人、島崎一紀、小林裕希
豊田裕之、坂井智彦、宮澤 優、柴田優一、今泉充
茨城大学 鶴野将年

1 はじめに

NESSIE (NEXt-generation Small Satellite Instrument for Electric Power System(EPS) : NESSIE) は、リチウムイオンキャパシタ (LiC) や高効率薄膜多接合太陽電池を用いた薄膜アレイシート (SSS : Space Solar Sheet) の実証機である。

LiC は安全性が高く、充放電サイクルによる劣化が極めて少なく、動作温度範囲が広い蓄電デバイスである。高効率薄膜多接合太陽電池は約 30% と変換効率が高く、軽量であり、かつ柔軟性をもつ。LiC は、実証目的として 1 セル搭載しており、これは内部電力源としての機能を持つ。SSS を用いた軽量パネルは、内部電力源として 2 接合薄膜太陽電池セルを用いた SSS、評価用としての IMM3 接合薄膜太陽電池セルを用いた SSS、そしてリファレンス用の Si 太陽電池セルを搭載している。

宇宙機の小型軽量化や安全性が求められる一方、電源機器は問題が発生した場合、衛星の生死に直結するため、新技術が開発されてもすぐにバス機器として搭載する事は出来ない。そのため、NESSIE のように新技術を軌道上実証する事は非常に重要である。

NESSIE は、2013 年 9 月にイプシロンロケットで打ち上げられた惑星分光観測衛星ひさき/SPRINT-A に搭載され、現在軌道運用中である。本稿では、この NESSIE について、及び打上げから約 1 年 4 ヶ月間で取得したデータについて報告をする。

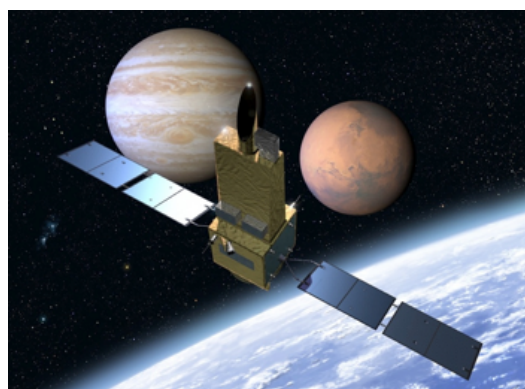


Fig.1 An Image of Hisaki

2 NESSIE 概要

まず、NESSIE が搭載されている惑星分光観測衛星ひさきの概略を示す。Fig.1 に、ひさきの外観を、そして Table 1 に、主要仕様を示す。ひさきは、極端紫外線により金星、火星、木星を観測することにより、木星のイオトラスのエネルギー収支機構の解明や、地球型惑星の太陽風との相互作用による大気流出機構の解明を目指す衛星である。

NESSIE は、実証を目的として LiC の充放電電圧、電流、及び温度を計測し、IMM3 接合薄膜太陽電池アレイシート、及びリファレンス用の Si 太陽電池セルの短絡電流、開放電圧、及びパネル温度の計測を行い、軌道上経年変化データを取得する。また、その取得データを用い、宇宙複合環境下での動作実証による実力確認 (耐放射線性、性能が設計通りか) を行い、地上試験性能予測モデルと軌道上トレンドデータ取得による相対評価を実施する。

Table 1. Specifications of Hisaki

重量	約 330 kg
寸法	約 1 m×1 m×4 m
軌道高度	946.8 km×1,156.8 km
軌道傾斜角	29.7 deg.
軌道種類	楕円軌道
軌道周期	約 106.2 分

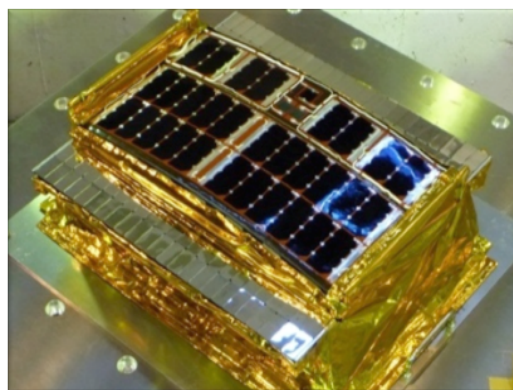


Fig.2 Appearance of NESSIE

2.1 構成

NESSIE の外観図を Fig. 2 に、内部配置図を Fig.3 にそれぞれ示す。また、NESSIE 概略を Table 2 に、主要構成部品を Table 3 にそれぞれ示す。Table 2 に示す通り、本実証機のバス電圧は 5 V 安定バスであり、DC-DC コンバータは、内部電力用の 2 接合薄膜太陽電池出力を 5 V に降圧安定させ、内部機器に必要な電力を供給

する。NESSIE 表面に搭載された薄膜太陽電池アレイシートは、動作に必要な電力を発生させる為のセル、及び実証用セルも具備する。

PCU は、内部の充放電制御回路により LiC の充放電制御を行う。日照中は充電を行い、太陽電池の短絡電流、開放電圧の測定時、放電し、内部回路の電力を賄う。また、太陽電池の開放電圧や短絡電流、温度、LiC の充放電電流、電圧等のアナログデータを取得し、HK データとして RS-422 を用いひきき本体に送信する。

3. リチウムイオンキャパシタ (LiC)

リチウムイオンキャパシタは、酸化物を持たない為、安全性が高く、充放電サイクルによる劣化や自己放電が極めて小さく長寿命である事を特徴とする蓄電デバイスである。エネルギー密度はリチウムイオン二次電池に劣るものの、深い放電深度での利用が可能であり、動作温度範囲が広く、ハイレート充放電が可能である。

NESSIE は、この実証対象である LiC を蓄電デバイスとして搭載している。LIC セルの主要性能を Table 4 に示す。従来のリチウムイオン二次電池(LIB)は正極に酸化物を使用しているため、内部短絡等の不具合が発生してセル温度が上昇した場合、正極材料の酸化物が分解して電解液と反応し、連鎖的な発熱が起きる危険性があるが、LIC の場合、正極が活性炭であり、LIC 内部に酸化物を持たない為、不具合が発生しても酸素が発生しない。それ故、連鎖的な発熱反応には至らないため、安全性は極めて高い。

4. 薄膜太陽電池

薄膜太陽電池セルは、軽量且つフレキシブルであり、NESSIE に部分搭載される IMM3J 薄膜太陽電池セルは 30% を超える変換効率が期待出来るため、現在使用されているリジッドな三接合太陽電池セルを用いた太陽電池パネルに比べ、大幅な軽量化が期待出来る。

まず、薄膜セル応用機能構造パネル(KKM-PNL)に搭載される薄膜太陽電池セルの仕様を Table 5 に示す。従来セルに比べ、薄膜且つ軽量故、出力密度は大幅に向上している。次に KKM-PNL の主要諸元を Table 6 に示す。内部電力を供給するための、薄膜 2 接合太陽電池アレイシート (メインアレイ)、

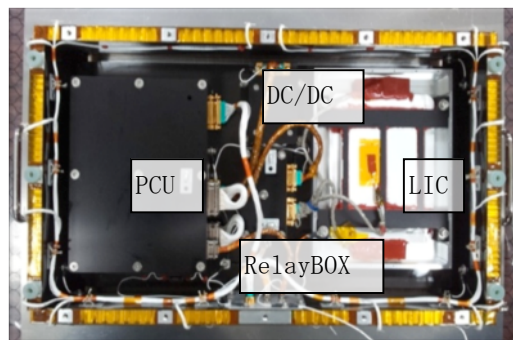


Fig.3 Internal Layout of NESSIE

Table 2. Specifications of NESSIE.

質量	10.03 kg
サイズ	550 mm(W)×463 mm(L)×205mm(H)
電源方式	5 V 完全安定バス
発生電力	10 W 以上(EOL,太陽光垂直入射時)
LIC 容量	1,171 mAh

Table 3. Main Components of NESSIE.

コンポーネント名称	略称	数量
薄膜セル応用機能構造パネル	KKM-PNL	1
PCU	PCU	1
DC/DC コンバータ	DC/DC	1
リチウムイオンキャパシタ	LiC	1

Table 4. LIC Specifications

質量	303 g(単体) / 832 g(含構造部)
サイズ W×L×H	125×165×15 mm (LIC セル単体) 164×220×23 mm (含構造部)
セルタイプ	アルミラミネート
容量	1,171 mAh
エネルギー密度	11.7 Wh/kg

Table 5. Thin-film Solar Cell specifications

	従来セル	薄膜多接合セル	
	3J	2J	IMM3J
セル初期 変換効率	Typ. 28.5%	25%	30~32%
セル初期 出力密度	0.4 W/g	Typ. 4.5 W/g	6.0~7.0 W/g

Table 6. SAP specifications.

項目	インターフェース条件
発生電力	10 W 以上(EOL, 太陽光垂直入射 SAP 出力端電圧 : 16 V~36 V)
アレイシート	ガラスコンフィギュレーションアレイシート
セル	SHARP 製 2 接合薄膜太陽電池セル (2J) SHARP 製 IMM3 接合薄膜太陽電池セル (3J) SHARP 製 Si セル
アレイシート 構成	2J メインアレイ : 11 直列×2 並列 IMM3J 評価セル : 2 直×1 並列および 1 セル リファレンスセル (Si) : 2 セル
寸法	W : 273.6 mm × L : 504 mm × H : 55 mm
保持方法	固定パネル。リブを用いた曲面支持構造

実証対象である IMM3J 薄膜太陽電池セル、及びリファレンス用の Si 太陽電池セルを有する。

4. フライトデータ

NESSIE は、ひさきに搭載され、2013 年 9 月 14 日にイプシロンロケットにより打ち上げられて以降、2013 年 10 月 12 日に初期チェックアウトを実施し、その後 2015 年 1 月 16 日時点までに 6 回 NESSIE を短時間起動し、データを取得した。このフライトデータを以下に示す。

4.1 リチウムイオンキャパシタ (LIC)

Fig.7 に、NESSIE ON 時の放電トレンドを示す。また、Fig.8 に、NESSIE ON 時のデータを連続して示す。

Fig.7 が示す通り、NESSIE を ON している時間は、約 1~2 分程度であり、この間に LiC を放電させて、データを取得している。

Fig.7 で示している LiC 放電電圧、及び Fig.8 において実線で示している LiC 放電電圧は、電圧計側点から LiC 出力端の間にある、ライン抵抗で補正したデータである。

NESSIE の OFF 期間は、最大約 4 ヶ月間であるが、Fig.8 に示す通り、NESSIE OFF 時の LiC 電圧と、次に ON した時の LiC 電圧は等しい。実際に、各 OFF 時と ON 時の電位差は、全て 0.00V であり、OFF の間に自己放電は全く発生していない。このことから、LiC が軌道上において健全であり、自己放電が非常に僅かである、という特徴が軌道上でも保たれていることがわかる。

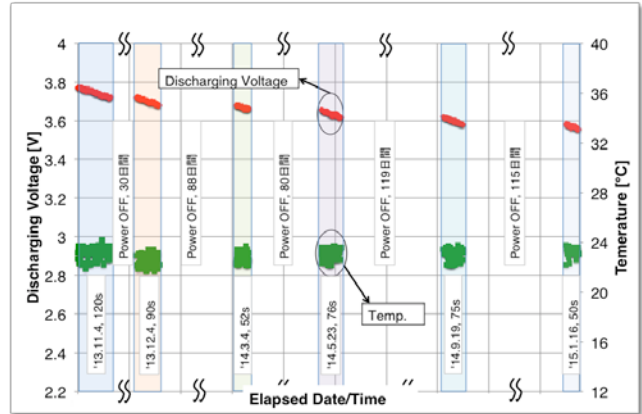


Fig. 7. The Trend of the Voltage during Discharging

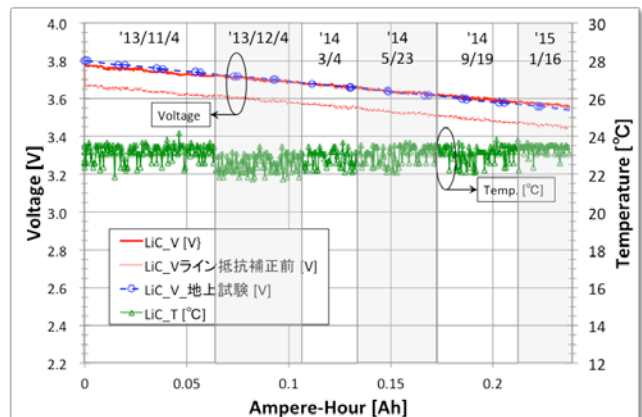


Fig. 8. LIC cell capacitance retention

4.2 IMM3 接合薄膜太陽電池

初期チェックアウト以降の、IMM3 接合薄膜太陽電池の短絡電流(Isc)の保存率を Fig.9 に、開放電圧 (Voc)の保存率を Fig.10 にそれぞれ示す。Isc 保存率は、25°C温度補正及び JERG で規定された太陽定数で補正されたデータであり、Voc は 25°Cで温度補正されたデータである。それぞれの図が示す通り、予測データと大きく差はなく、健全で有り、且つ地上予測が、現時点で正しい事がわかる。

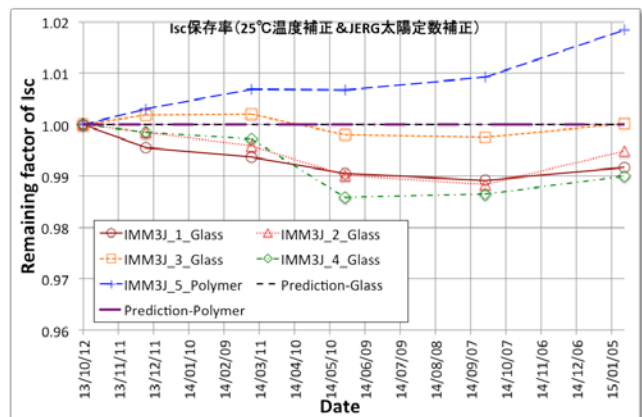


Fig.9 Remaining Factor of Isc

5. まとめ

リチウムイオンキャパシタ、及び宇宙用高効率多接合薄膜太陽電池の実証機 NESSIE の概要、及び最新のフライトデータについて報告した。

実証対象である LiC、及び IMM3 接合薄膜太陽電池は、2015 年 1 月の時点において、その健全性が確認されている。

NESSIE による軌道上実証は、将来の宇宙機に適用され、宇宙機の軽量化に貢献する為にも、非常に重要なミッションと考えており、今後も継続して実証を進めて行く予定である。

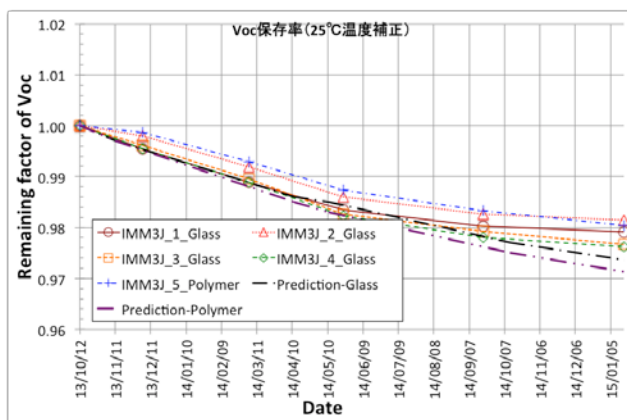


Fig.10 Remaining Factor of Voc

参考文献

- [1] A. Kukita, M. Takahashi, K. Shimazaki, Y. Kobayashi, T. Sakai, H. Toyota, Y. Takahashi, M. Murashima, M. Uno, T. Shimada, and M. Imaizumi, "On-Orbit Demonstrator of Next Generation Instruments for Electric Power System by NESSIE", 33rd ISAS Space Energy Symposium, 2014.