

# リチウムイオン電池の研究

## Research on Lithium-ion Cells for Space Applications

エレクトロニクス技術グループ  
Spacecraft Electrical Engineering Group

王 献明、曾根理嗣、山田知佐、内藤 均、桑島三郎  
Xianming Wang, Yoshitsugu Sone, Chisa Yamada, Hitoshi Naito, Saburo Kuwajima

### Abstract

To develop lithium-ion batteries for space applications, we are performing long-term evaluation on 10-100 Ah-class lithium-ion cells by simulating spacecraft's operation. So far, 23,000 cycles for LEO and 1,350 cycles for GEO satellite simulation testing have been completed. These results respectively correspond to about 4- and 15-year LEO and GEO satellite operations, indicating good applicability of lithium-ion cells as satellite power. The simulation testing of H-IIA transfer vehicle (HTV) operation disclosed that lithium-ion cells were applicable for this short-term mission even with a strict operation condition of high charge rate and high taper voltage. The commercial laminated lithium-ion polymer cells (0.65 Ah) exhibited good performance in both cycle-life testing and space-environment endurance.

### 1. はじめに

本研究は、人工衛星及び宇宙機の中で質量・容積面での影響が大きく、またそれらの寿命を左右する電力貯蔵用バッテリーについて、小型・軽量化、及び高信頼化を目指し、100 Wh/kg 以上のエネルギー密度を持つ大容量(10-100 Ah)リチウムイオン電池を調達し、人工衛星及び宇宙機への適応性評価試験を主にリアルタイムで実施する。また、民生で進むリチウムイオン電池の開発動向を着実に人工衛星及び宇宙機に反映し、ラミネート系薄型リチウムイオンポリマー電池(0.6 Ah 程度)を含む新規材料を用いたリチウムイオン電池の適用性評価を着手する。

H15 年度に、特にリチウムイオン電池のプロジェクトへの適用性・信頼性の確認、向上などに着目し、これまで実施しているリチウムイオン電池の適用性評価試験を継続すると共に、宇宙ステーション補給機(HTV, H-IIA Transfer Vehicle)の電源システム設計変更に伴う 100 Ah 級リチウムイオン電池の運用模擬試験および次世代周回衛星向けの寿命評価試験などを開始した。

### 2. 研究成果の概要

H15 年度に実施した試験項目は、衛星用リチウムイオン電池（民生用小型電池を含む）で 14、HTV 用リチウムイオン電池で 2 となっている。供試体のリチウムイオン電池は、正極に  $\text{LiCoO}_2$  と  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 、負極に黒鉛系と非黒鉛系からの組み合わせになる。

#### 2. 1. リチウムイオン電池の人工衛星への適用性評価

周回軌道模擬寿命評価試験には、25%と 40%の二種類の放電深度(DOD)を用いる。100 Ah 級  $\text{LiCoO}_2$ /黒鉛系リチウムイオン電池は、25%DOD の条件下で、23,620 サイクル付近に 3.54 V 以上の放電末期電圧を維持している(Figure 1)。また、40%DOD の厳しい条件下でも、22,943 サイクルまで放電時電圧が下限電圧より高く、良好な評価データの蓄積が図られている。これらの評価データは軌道上でおよそ 4 年の衛星運用に相当する。50 Ah 級  $\text{LiCoO}_2$ /黒鉛系リチウムイオン電池は、極板の設計により、2 種類に分けられる。100 Ah 電池と同じ極板設計を持つ 50 Ah 級リチウムイオン電池については、次世代周回衛星への適用に向け、寿命評価を実施している。100 Ah 電池より薄い極板を持つ高率充放電対応の 50 Ah 級リチウムイオン電池は、同様な評価条件(40%DOD)を有する 100 Ah 電池に比べ、良好な寿命特性を示す。

静止軌道衛星模擬寿命評価には、2 種類の試験を実施している。一つは 80%の放電深度を用いる充放電サイクルのみを模擬した試験である。現在、100 Ah 級  $\text{LiCoO}_2$ /黒鉛系リチウムイオン電池は、約 15 年の衛星運用に相当する 1,350 サイクルを経過し、電池電圧が放電末期で約 3.1 V を維持している。も

う一つの静止衛星模擬試験としては、前出の 100 Ah 級  $\text{LiCoO}_2$ /黒鉛系リチウムイオン電池を用い、10 直列のバッテリーを組み立て、温度加速で静止軌道の日照期間とリアルタイムで食期間を模擬した評価試験を実施している。45 日のサイクル模擬試験に、DOD を 40%、60%、70%、60%、40% の 5 パターンに変化する。その後、バッテリーを 25°C にて 10 日間曝すことにより、軌道上で予定される 0°C にて半年下の放置を模擬する。現時点で、軌道上 6 年相当の 12 食シーズンを経過しているが、全日照期間中の自己放電は僅かであり、サイクル中の放電末期電圧も 70% の放電深度下で約 3.4 V を維持している (Figure 2)。これはリチウムイオン電池が静止衛星に対しても高い適用性を示す結果となっている。

## 2. 2. 宇宙ステーション補給機 (HTV) の運用適合性評価

HTV は  $\text{LiCoO}_2$ /黒鉛系リチウムイオン電池を利用する予定である。このことから、100 Ah 電池と同じ極板設計を持つ 50 Ah 級リチウムイオン電池を用い、DOD を 40% にて一定とし、充電条件 (電流とテーパー電圧) のみを変化して、急速充電条件下でのリチウムイオン電池の適用性を確認した。この試験は 5,170 サイクルをもって終了し、HTV 運用期間を模擬した 300 サイクルの運用可能性、および厳しい運用条件下での速い劣化進行が示唆される結果となった。

このような成果を踏まえて、その後、新たに HTV の電源システムに選定された 100 Ah 級リチウムイオン電池の比較的高温 (35°C) 下での模擬試験を開始した (Figure 3)。ここで、最大で 120 A の充電電流を流し、かつ充電時テーパー電圧を 4.05 V まで上げ、二段放電 (最大 DOD : 44%) を含む模擬評価試験条件を用いた。1,200 サイクルを経過した現在、電池は 3.60 V 以上の放電末期電圧を維持し、HTV への適用性が確認された。

## 2. 3. 民生用ラミネート系薄型リチウムイオンポリマー電池の評価検討

民生では近年のモバイル機器の小型軽量化が進む中、薄型で高エネルギー密度を有するラミネート型リチウムイオン電池が活発に開発されている。宇宙機においても小型軽量の人工衛星開発が進む中、薄型電池に対する期待が高まっている。その一方で、宇宙機にラミネート系電池を使用する場合には、電池の寿命性能ばかりでなく宇宙特有の真空あるいは温度環境への耐性が重要となるため、これらの環境試験が必要となる。

そこで、H15 年度に、民生用ラミネート系薄型リチウムイオンポリマー電池 (0.65 Ah) を調達し、真空状態 (20 Pa) 下での低軌道模擬寿命評価試験 (40% DOD) を実施した。実際のマイクロ衛星への適用を想定し、アルミテープで電池を固定した。また、熱プレートの温度を 0-45°C に変化し、電池の最適な環境温度を確認した (Figure 4)。その結果、リチウムイオンポリマー電池は真空状態下でも安定な形態を保つ他、放電末期電圧が 10-30°C の最適な環境温度で安定に推移することが確認された。4,000 サイクルを経過した時点、放電末期電圧が尚 3.2 V 程度を維持している。これは軌道上でおよそ 9 ヶ月の衛星運用に相当し、ラミネート系薄型リチウムイオンポリマー電池の小型衛星への適用可能性を示唆するものであった。

また、このリチウムイオンポリマー電池をアルミテープで固定し、 $3.0 \times 10^{-6}$  Pa 程度の真空状態下での振動試験を実施した。その結果、リチウムイオンポリマー電池はピギー 2 号機の打ち上げ時の模擬振動条件に耐えることを確認した。

## 2. 4. 新規電池の試作、その他

H15 年度に、主に LEO 衛星向けの高率充放電対応設計およびプロジェクト支援を考慮し、4 種類の新規リチウムイオン電池を試作し、今後の評価試験に供する。

また、電池性能劣化の原因究明を図り、2 件の試験後電池の分解調査を実施した。

## 3. 今後の研究計画

リチウムイオン電池については、幾つかの人工衛星と宇宙機が適用を決めている。今後、このようなプロジェクトへの適用を念頭においたリチウムイオン電池の特性把握を進め、運用模擬評価による運用条件の適正化、EM の製作とバッテリー開発の支援、電池ケース安全弁の耐久性確認等が主な課題になる。

また、これまで継続している社内長期寿命評価を継続すると共に、H15 年度に新規試作した高率充放電対応のリチウムイオン電池のサイクル寿命評価及び  $\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Al}_y\text{O}_2$  正極系電池の GEO 衛星向けの充電維持評価を着手する。

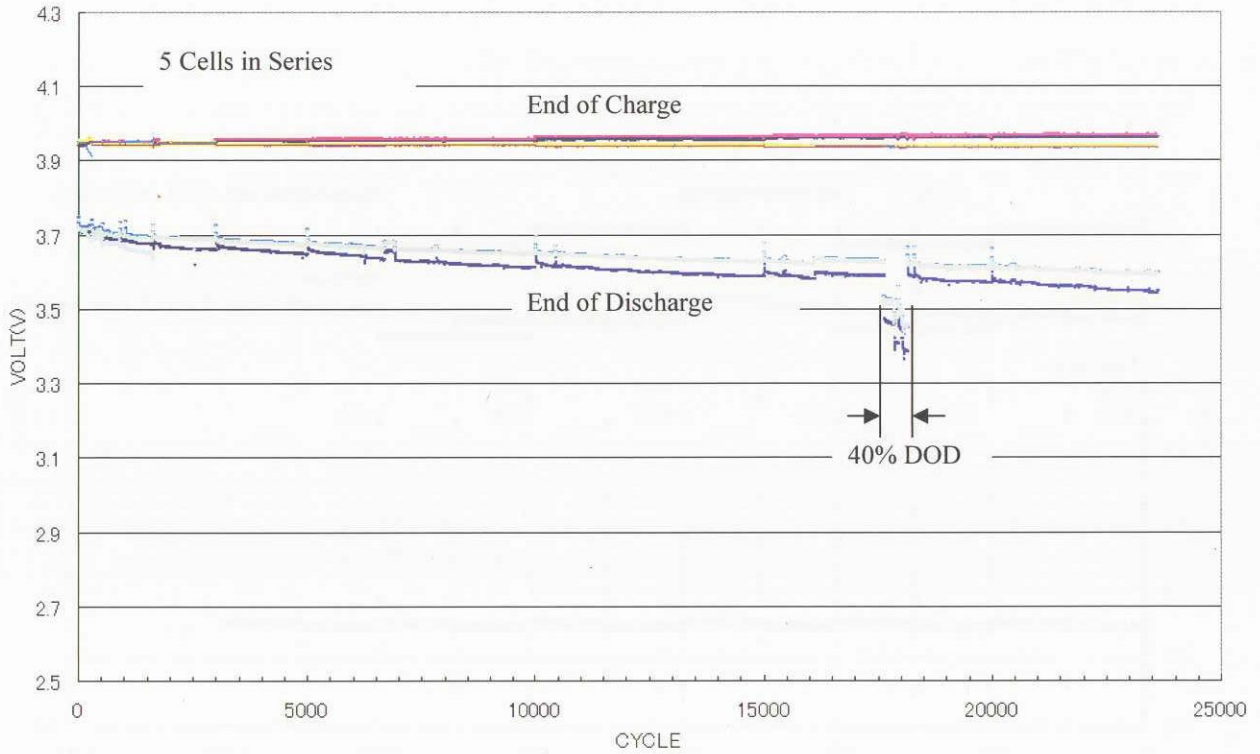


Figure 1. Voltage trend of 100 Ah-class LiCoO<sub>2</sub>/graphite lithium-ion cells simulated LEO operation (25% DOD).

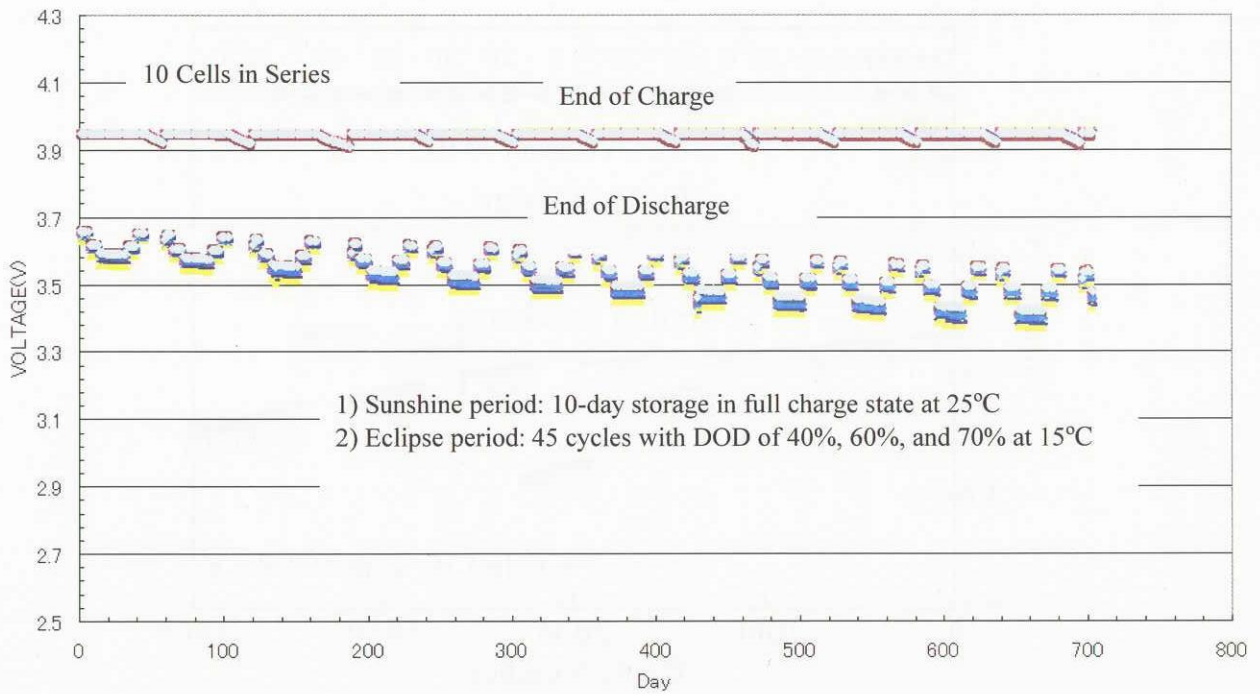


Figure 2. Voltage trend of a 100 Ah-class LiCoO<sub>2</sub>/graphite lithium-ion battery with 10 cells in series simulated GEO operation with a maximum DOD of 70%.

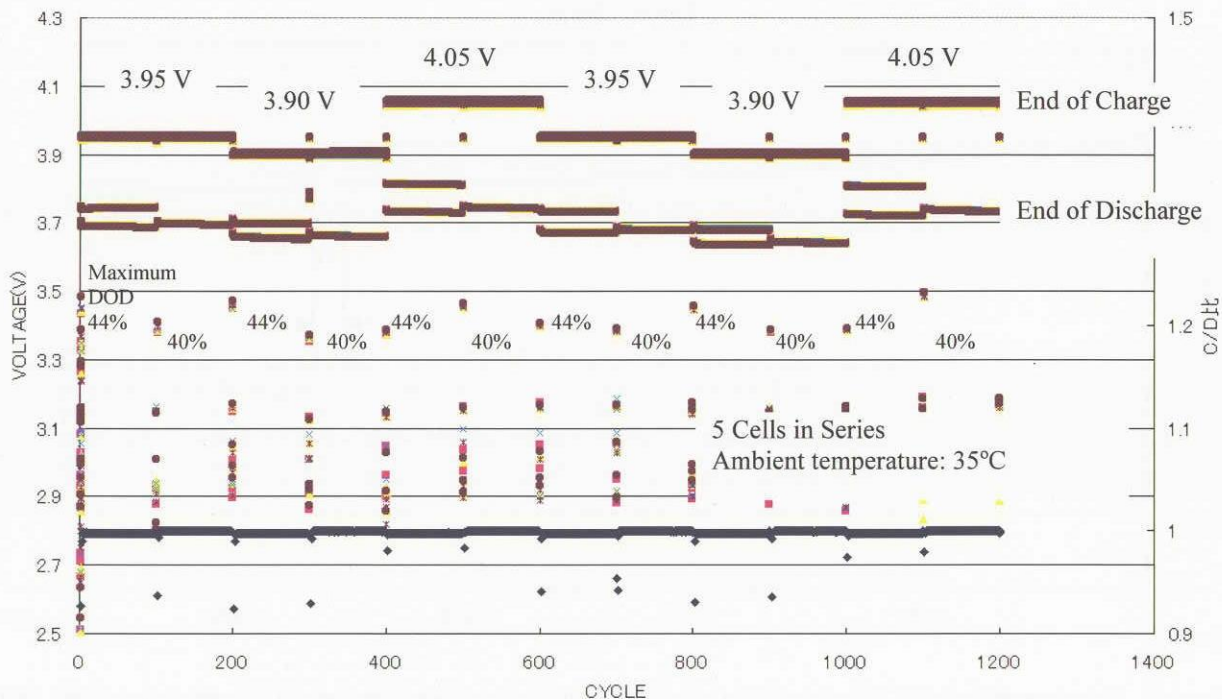


Figure 3. Voltage trend of 100 Ah-class LiCoO<sub>2</sub>/graphite lithium-ion cells simulated HTV operation

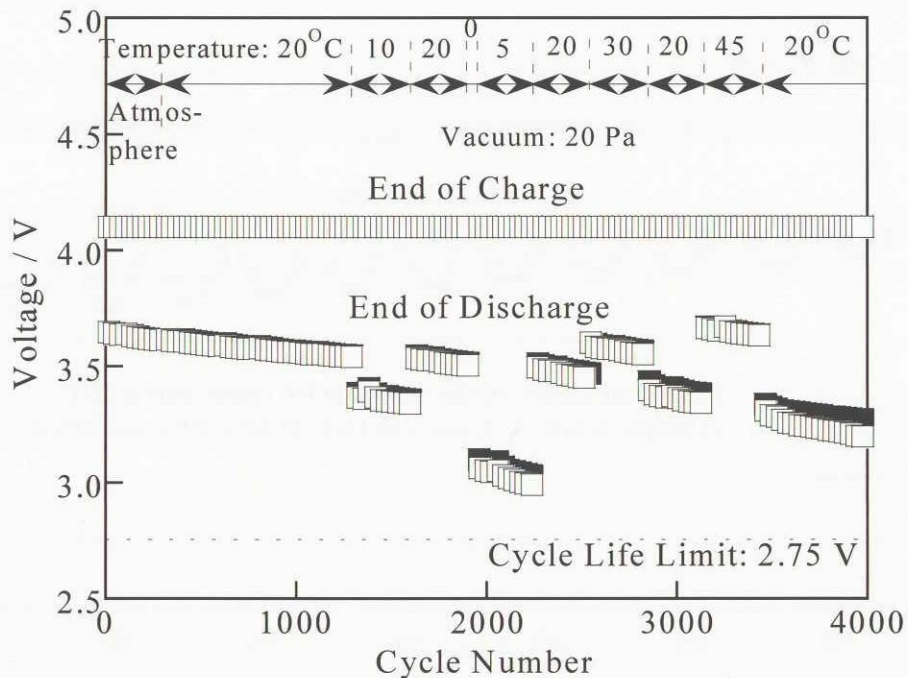


Figure 4. Voltage trend of laminated lithium-ion polymer cells (0.65 A) simulated LEO operation (40% DOD)