

大型リチウムイオン電池の長期的サイクル寿命特性評価 Long-Term Cycle-Life Testing of Large-Capacity Lithium-ion Cells for Space Applications

総合技術研究本部 エレクトロニクス技術グループ
Spacecraft Electrical Engineering Group, Institute of Space Technology and Aeronautics

王 献明、内藤 均、山田知佐、瀬上 剛、岐部公一
Xianming Wang, Hitoshi Naito, Chisa Yamada, Go Segami, and Koichi Kibe

Abstract

In a spacecraft, battery system is one of the most massive onboard components. The specific advantages of lithium-ion technology in energy density and working voltage offer the possibility of huge reductions in battery mass, and hence contribute to lower launch costs and enable missions that have critical weight and/or volume margins. To facilitate the applications of lithium-ion battery in a spacecraft, we began conducting the long-term evaluation on 10-100 Ah-class lithium-ion cells by simulating satellite's operation in 1998. In this paper, we provide a review of the latest cycle-life test results of these large-capacity lithium-ion cells. Thus far, for some of these cells, we have verified impressive life performance exceeding 29,000 cycles in a low-Earth-orbit (LEO) simulation mode and 1,700 cycles in a geosynchronous-Earth-orbit (GEO) simulation mode. These results respectively correspond to about 5- and 19-year LEO and GEO satellite operations, indicating good applicability of lithium-ion cells as power storage devices in a satellite. Since the electrode material is an important factor to affect the charge-discharge behavior of a lithium-ion cell, we also compared the cycling performance of lithium-ion cells with different electrode materials.

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、及び高信頼化を図り、成果をプロジェクトへ適用し、ペイロード能力の向上とミッション達成を実現することを目的とする。

平成10年度から、100 Wh/kg以上のエネルギー密度を持つ大型(10-100 Ah)リチウムイオン電池を試作/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ことにより、プロジェクトへの適用を念頭に置いたリチウムイオン電池の特性把握等を行い、信頼性・安全性の向上、適正な運用技術の取得を進めてきた。平成16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、運用模擬評価による運用条件の適正化、新規電極材料を用いたリチウムイオン電池の宇宙機への適用性評価を着手した。

2. 研究の概要

平成16年度に実施した試験項目は、衛星用リチウムイオンセルで17、宇宙ステーション補給機(HTV)用リチウムイオンセルで1となっている。Table 1にリチウムイオンセルの主な長期的社内評価状況をまとめる。供試体のリチウムイオンセルは、負極に黒鉛系と非黒鉛系、正極にLiCoO₂、LiMn₂O₄とLiNi_{1-x-y}Co_xAl_yO₂の組み合わせからなる。

3. 研究の成果[1]

周回軌道衛星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級黒鉛/LiCoO₂系リチウムイオン電池は、25%DODの条件下で、29,000サイクル付近に3.5 V以上の放電末期電圧を維持している (Fig. 1)。この評価データは軌道上でおよそ

5年の衛星運用に相当する。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。50 Ah級黒鉛/LiCoO₂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 [2]。10 Ah級黒鉛/LiCoO₂系リチウムイオン電池は、25%DODの条件下で、8,000サイクル付近に3.6 V以上の高い放電末期電圧を維持している。40%DODの条件下で、放電末期電圧の低下が同じ極板設計を持つ100 Ah電池より激しくなり、スケールファクターが電池性能に影響を与える可能性を示唆する。

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級黒鉛/LiCoO₂系リチウムイオン電池は、約19年の衛星運用に相当する1,700サイクルを経過した。電池電圧はテーパー電圧の上昇により、放電末期で約3.4 Vを維持している。新しい正極材料を用いた50 Ah級黒鉛/LiNi_{1-x-y}Co_xAl_yO₂系リチウムイオン電池は、3食シーズンの衛星運用に相当する140サイクルを経過した。現時点で、放電末期電圧はLiCoO₂系電池より低いものの、良好なサイクル維持性を示すことになっている (Fig. 2)。もう一つの静止衛星模擬試験としては、前出の100 Ah級黒鉛/LiCoO₂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 [3]。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、フル充電状態下でのバッテリーを25°Cにて8日間曝すことにより、軌道上で予定される0°Cにて半年下のフル充電放置を模擬する。現時点で、軌道上9年相当の19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 (Fig. 3)。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。

HTVへの適合性評価試験はHTVの運用を模擬した試験を実施し、その試験結果から適合性があることを明らかにした。

この他、充放電レート、テーパー電圧による電池の歪量変化から長寿命化の指針を得ている。本件については別途報告する。

4. まとめ

欧米は既にリチウムイオン電池を搭載した宇宙機を打ち上げた現状を考慮して、今後更にリチウムイオン電池の研究開発を強化する必要がある。プロジェクトの運用模擬データの取得による課題の把握並びに運用技術の取得を目指して、これまで実施している社内長期寿命評価を継続すると共に、開発仕様の策定および適用データシートの作成を着手する。

[参考文献]

- [1] Chisa Yamada, Xianming Wang, Hitoshi Naito, Go Segami, and Saburo Kuwajima, Update on Development of Lithium-ion Cells for Space Applications at JAXA, The 2004 NASA Aerospace Battery Workshop, Nov. 16-18, 2004, Huntsville, USA.
- [2] Koichi Kibe, Xianming Wang, and Hitoshi Naito, Improved Cycling Performance of Large-Capacity Lithium-Ion Cells with Optimum Electrode Design in Simulated LEO Operation, Space Power Workshop, April 18-21, 2005, Manhattan Beach, USA.
- [3] Xianming Wang, Hitoshi Naito, Chisa Yamada, Go Segami, and Koichi Kibe, Cycle-Life Testing of 100-Ah Class Lithium-Ion Batteries in a Simulated GEO Operation, 3rd International Energy Conversion and Engineering Conference, August 15-18, 2005, San Francisco, USA.

Table 1. Typical lithium-ion cells in simulated spacecraft operations.

Sample Type		Testing Condition	Status*
Graphite/LiCoO ₂	10 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	8,000
		LEO, DOD: 40%, 15°C	8,000
	50 Ah Cell	LEO, DOD: 40%, 15°C	15,000
	100 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	29,000
		LEO, DOD: 40%, 15°C	23,000
		GEO, DOD: 80%	36 Season
100 Ah Battery	HTV, DOD: 40%, 10°C, 35°C	3,300 (End)	
Graphite/LiNi _{1-x-y} Co _x Al _y O ₂	50 Ah Cell	GEO, DOD: 80%	19 Season
Non-graphite/LiMn ₂ O ₄	3.5 Ah Cell	GEO, DOD: 80%	3 Season
	9.5 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	2,500 (End)
Graphite/ LiMn ₂ O ₄	15 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	5,000
		LEO, DOD: 40%, 15°C	3,000 (End)

* As of August 23, 2005

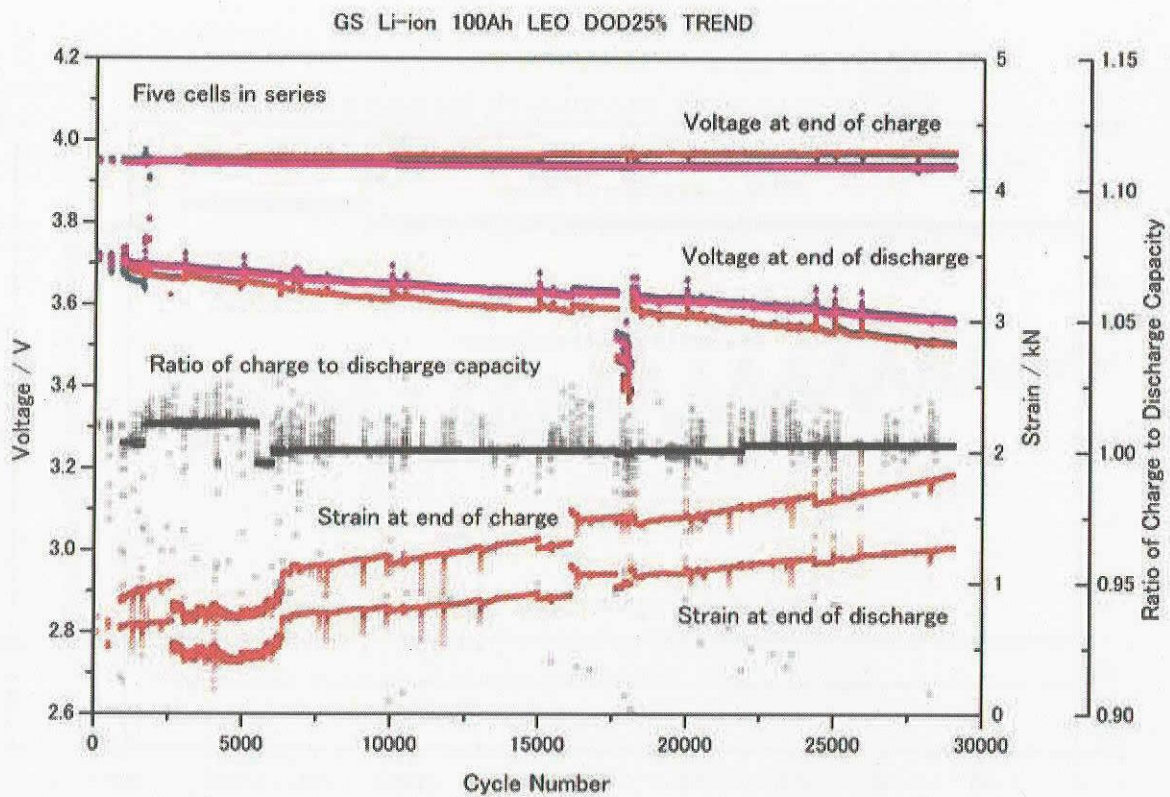


Fig. 1. Trend of 100 Ah-class graphite/LiCoO₂ lithium-ion cells simulated LEO operation (25% DOD).

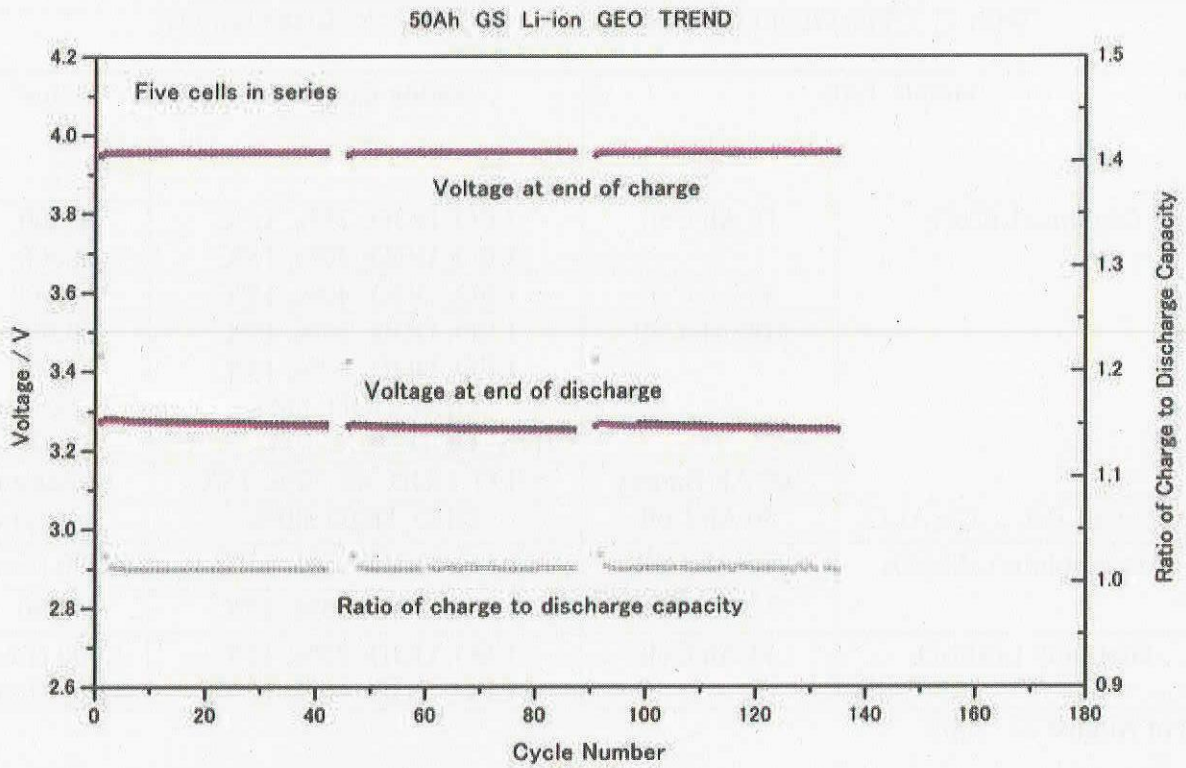


Fig. 2. Trend of 50 Ah-class graphite/LiNi_{1-x-y}Co_xAl_yO₂ lithium-ion cells simulated GEO operation.

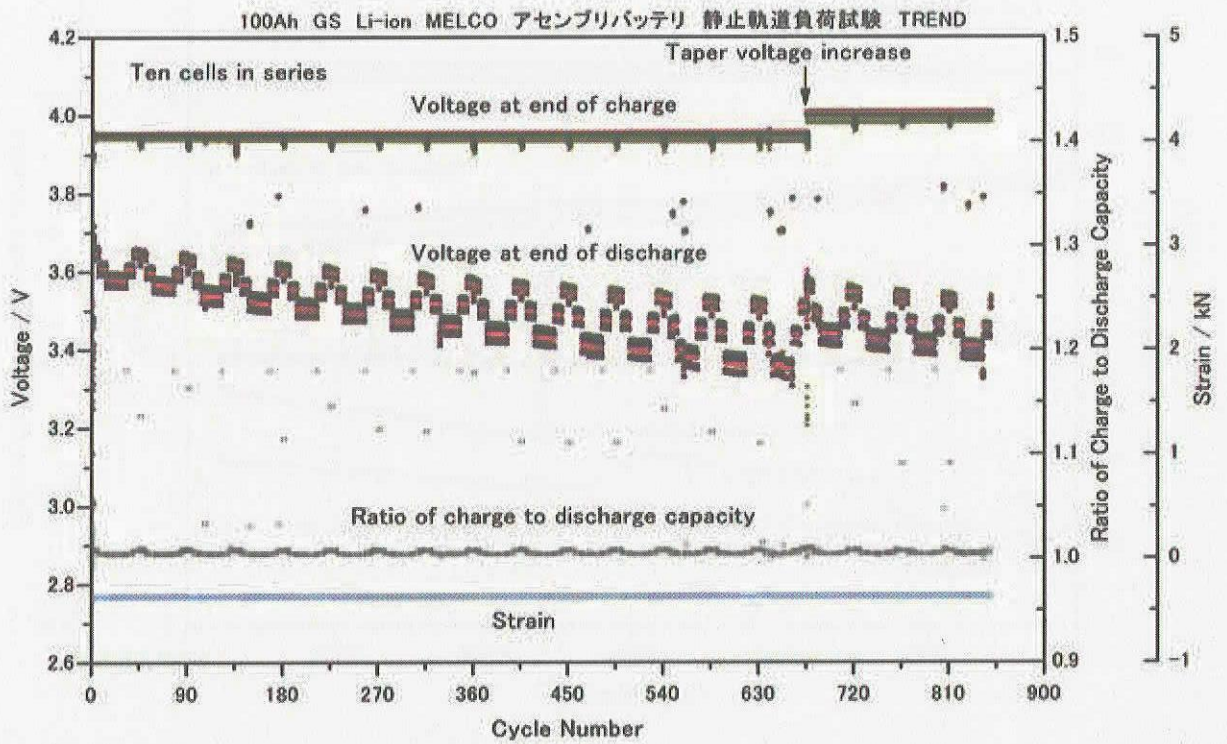


Fig. 3. Trend of 100 Ah-class LiCoO₂/graphite lithium-ion battery with 10 cells in series simulated GEO operation with a maximum DOD of 70%.