

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

総合技術研究本部 電源技術グループ
Space Power Engineering Group, Institute of Space Technology and Aeronautics

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

Abstract

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 30,000 cycles in a low-Earth-orbit (LEO) simulation mode and 1,800 cycles in a geosynchronous-Earth-orbit (GEO) simulation mode. These results respectively correspond to about 5- and 20-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。

これまで、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について、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。また平成16年度より、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に着手した。

2. 研究の概要

平成17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16種類以上である。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た。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。主として、負極に黒鉛、正極にLiCoO₂のセルについて評価を行っている。

3. 研究の成果[1]

周回軌道衛星模擬寿命試験では、25%と40%の二種類の放電深度(DOD)で評価を行っている。100 Ah級黒鉛/LiCoO₂系リチウムイオン電池は、25%DODの条件下で、30,000 サイク

ル以上の寿命を確認している。また放電末期電圧も 3.5 V以上を維持している (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。

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、寿命評価に着手し現在 3,000 サイクルを経過している。また電極端子部が宇宙用とは異なるが電極材、電解液等は同じ構成である 10Ah 級リチウムイオン電池についても 12,000 サイクル以上の寿命を確認し、試験を継続している。

容量の違いだけで、電極材用をはじめとするセル構成材料が同一仕様である電池は基本的に電気化学的性能は同一であると考えられる。そのため、100, 50, 10Ahのセルの充放電電圧特性、容量維持率等を比較した(Figs. 1, 2)。その結果、充電末期電圧、放電末期電圧、実力容量、残存容量は3種類ともほぼ一致したトレンドを示している。したがって容量のスケリングのみで電気化学特性に係る部分の仕様が同一のセルの場合、25%DOD程度での充放電においては、サイクル寿命等の特性についても同一と推定される。引き続き試験を継続し長期的なトレンド比較を行う予定である。一方、40%DODの試験では、10 Ah級黒鉛/LiCoO₂系リチウムイオン電池は、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。充放電レートにより熱特性等の影響が原因か今後引き続き評価を行い、検証を進める予定である。

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%DODの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 (Co系)は、約 20 年の衛星運用に相当する 1,800 サイクルを経過した後、寿命に達したため試験を停止した。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(Ni系)は、9 食シーズンの衛星運用に相当する 400 サイクルを経過した。初期には放電末期電圧はLiCoO₂系電池より低いものの、Fig. 3 に示すCo系とNi系の正極のセルのサイクル寿命特性比較から分かるように、良好なサイクル維持性を示しており、放電末期電圧はNi系の方が低下が少ないことが分かる。この結果から放電深度の深い静止軌道等での使用に際しては、Ni系セルの適用も有望であることが分かった。引き続き全日照期間の電池性能把握も含め特性評価を継続する。

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 [2]。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 11 年相当の 22 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。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。

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] Hitoshi Naito, Xianming Wang, Chisa Yamada, Go Segami, and Koichi Kibe, Current Status of Cycle-Life Testing for Large-Capacity Lithium-ion Cells Simulated Spacecraft Operation at JAXA, The 2005 NASA Aerospace Battery Workshop, Nov. 30-2, 2005, Huntsville, USA.

[2] 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	12,700
		LEO, DOD: 40%, 15°C	12,800
	50 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	2,500
		LEO, DOD: 40%, 15°C	2,600
100 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	33,000	
	LEO, DOD: 40%, 15°C GEO, DOD: 80%	23,000 40 Season	
100 Ah Battery	GEO, DOD: 40-70%, 15°C	22 Season	
Graphite/LiNi _{1-x-y} Co _x Al _y O ₂	50 Ah Cell	GEO, DOD: 80%	9 Season
Non-graphite/LiMn ₂ O ₄	3.5 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	2,500 (End)
	9.5 Ah Cell	LEO, DOD: 25%, 15°C	5,000

* As of July 7, 2006

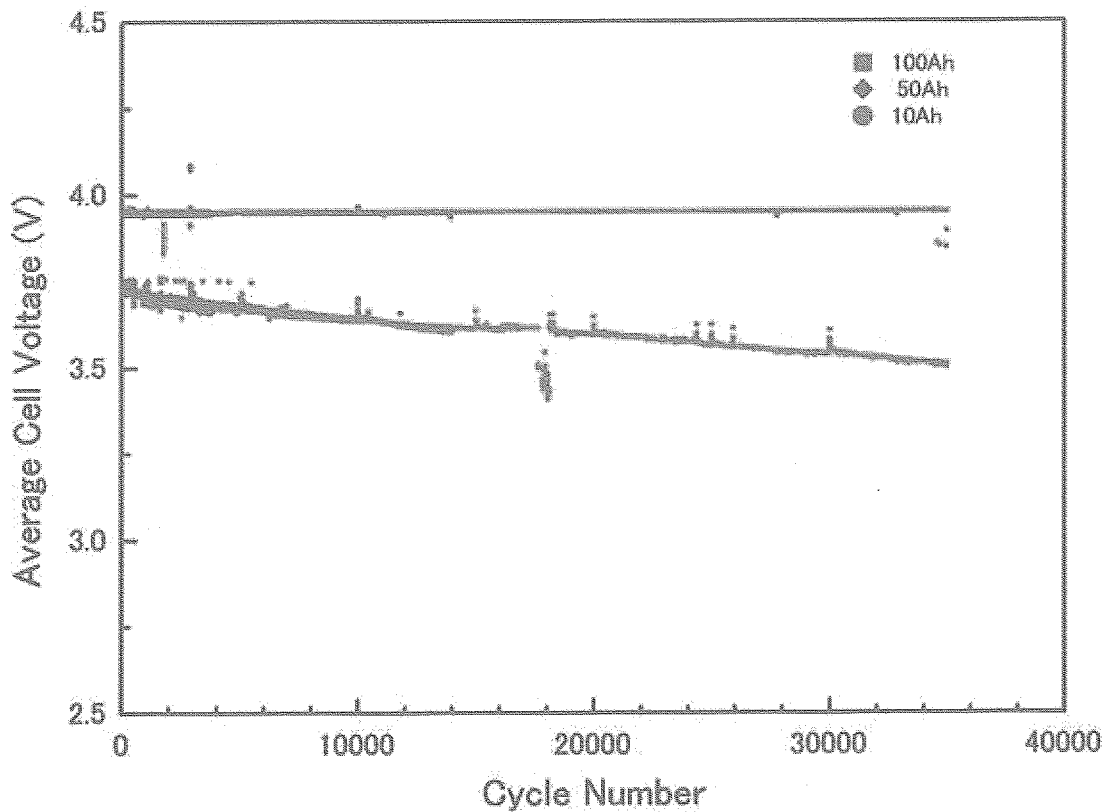


Fig. 1. Trend of graphite/LiCoO₂ lithium-ion cells simulated LEO operation (25% DOD@15°C).

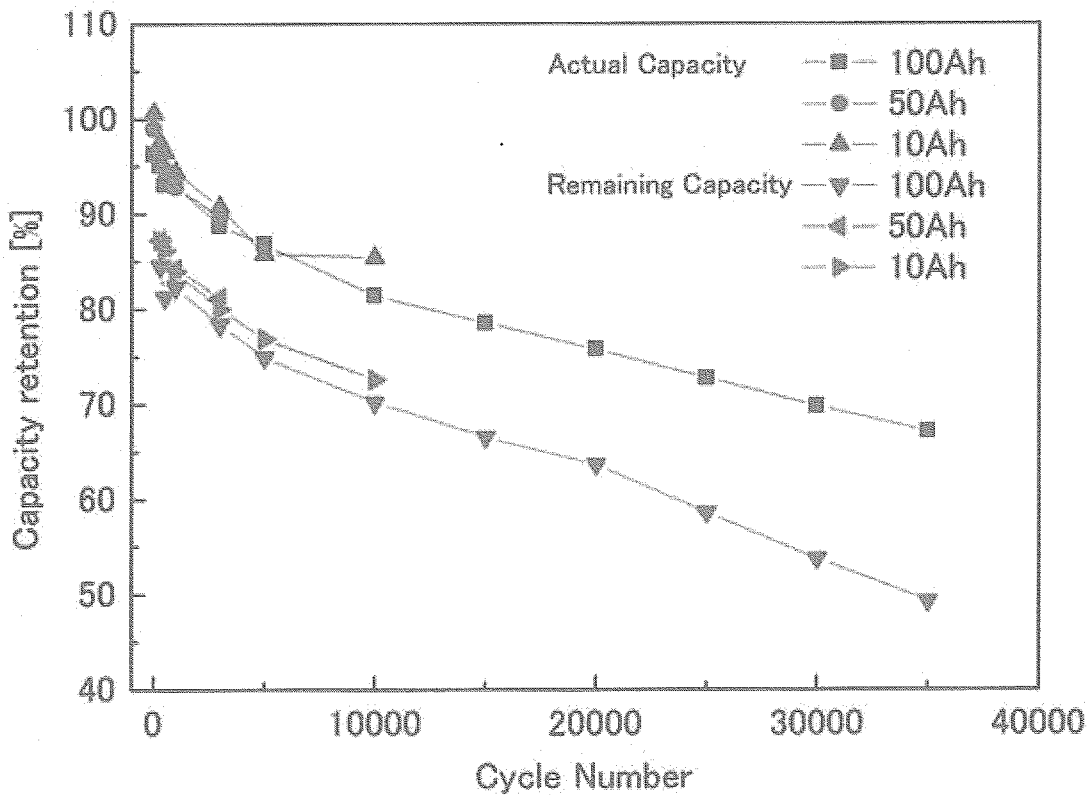


Fig. 2. Capacity retention profiles of graphite/LiCoO₂ lithium-ion cells simulated LEO operation.(25%DOD@15°C)

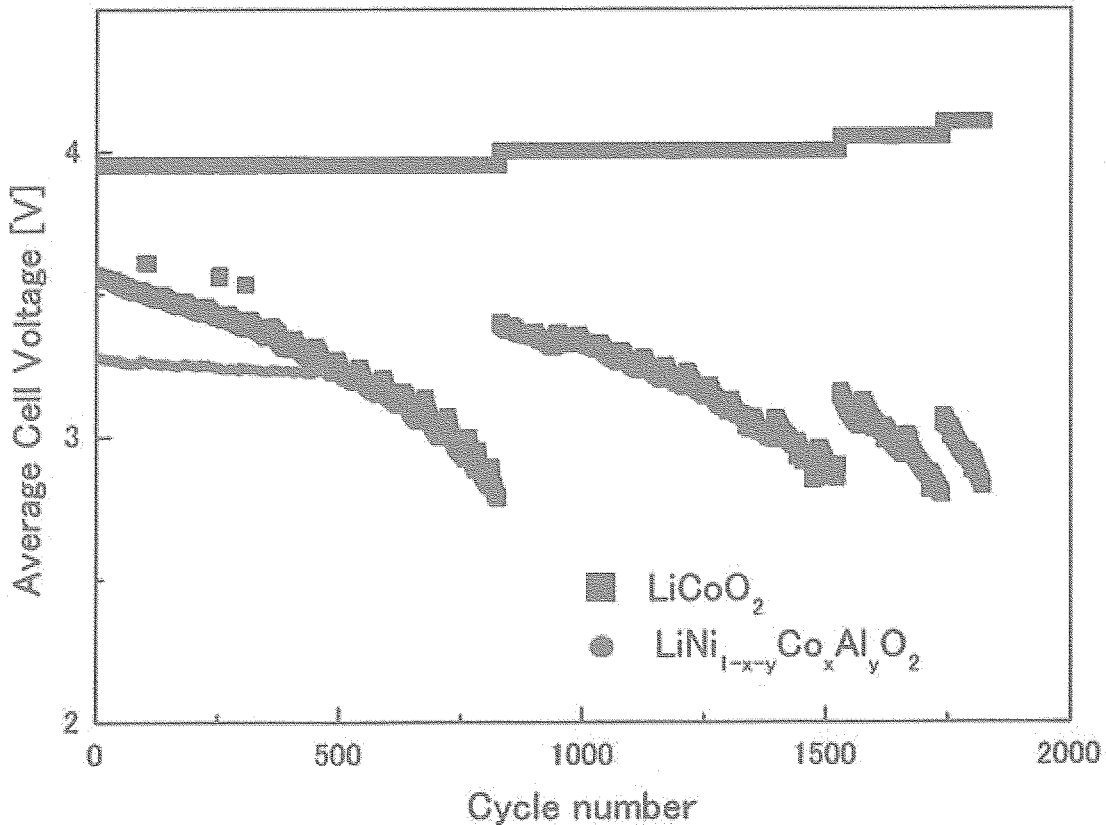


Fig. 3. Trends of 100 Ah-class graphite/LiCoO₂ and 50 Ah-class graphite/LiNi_{1-x-y}Co_xAl_yO₂ lithium-ion cells simulated GEO operation.