

Development of Stainless Steel Laminate Li-ion Pouch Cell for Space Application

Hiroki Ooto, Kazuya Koide, Kenji Ohira, Hidetoshi Abe

The Furukawa Battery Co. LTD., 23-6 Kuidesaku, Joban-shimofunaomachi,
Iwaki, Fukushima 972-8501, Japan

Hiroyuki Toyota

ISAS/JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5210, Japan

Abstract :

Alkaline batteries such as Ni-Cd battery and Ni-MH batteries, which were once the mainstream of batteries used for space applications, have been replaced by lithium-ion (Li-ion) batteries. Moreover, weight reduction of batteries has been advancing. Energy density of only about 50 Wh/kg from one alkaline battery has been improved greatly to more than 100 Wh/kg provided now by Li-ion batteries.

Although some small satellites and planetary exploration spacecraft need batteries having smaller capacity of less than 30 Ah and higher energy density, conventional space batteries are unable to meet this requirement. With Li-ion batteries designed for conventional applications, energy density has improved up to 170–200 Wh/kg using lightweight aluminum film laminated to the casing. For space applications, however, heavy-duty construction to withstand vibrations and shocks at launching and for use under vacuum environments, as well as sturdy fixtures are necessary for assembly. Therefore, aluminum laminated films, which are lighter than conventional stainless steel (SUS) but inferior to it in strength, are not applicable. Therefore, using SUS laminate film to the casing, we have developed a Li-ion cell that is small (10 Ah) but which has energy density of greater than 100 Wh/kg and which ensures space environmental tolerance.

Aiming at weight reduction and improved energy density, we developed a lithium-ion battery using SUS foil and film laminated to the casing. Energy density of 118 Wh/kg was attained using a smaller capacity battery (10 Ah), suggesting that further improvement of energy density can be expected by increasing the capacity. Results of charge-discharge cycle testing and mechanical environmental testing under a reduced-pressure environment indicate that this battery is adequate for space applications.

Presented at the 33rd ISAS Space Energy Symposium, 14 February, 2014

ステンレス箔ラミネートフィルム電槽リチウムイオン電池の開発

古河電池 大登裕樹、小出和也、大平賢治、阿部英俊
JAXA 豊田裕之

1. はじめに

宇宙用電池の主流はNi-Cd 電池やNi-MH 電池といったアルカリ電池からリチウムイオン電池に移行し軽量化が進んでいる。電池1個当りのエネルギー密度はアルカリ電池で50Wh/kg程度であったのに対し、リチウムイオン電池では100Wh/kg以上と大きく向上した。一方で、ミッションの多様化により宇宙機の電源システムに対する軽量化要求は年々強くなっており、特に質量制限の厳しい惑星探査ミッションでは従来構造の電池から大幅な質量の低減を求められる傾向にある。

我々は、宇宙航空研究開発機構との共同開発により、ステンレス箔ラミネートフィルムをケースに用いた、軽量で、且つ宇宙環境耐性を確保するリチウムイオン電池を開発した。試作したステンレス箔ラミネートリチウムイオン電池の基本充放電特性を評価し、宇宙用としての環境耐性について調査した結果を報告する。

2. 開発の背景

2.1. 開発目標

2020年代前半の打上げを目標とした火星探査ミッションにおいて、小型飛行機による惑星探査が検討されている¹⁾。この火星探査小型飛行機の電源要求をFig.1に示す。電池容量は10~20Ahと比較的小さい一方、エネルギー密度は150Wh/kgと高い値を要求されており、既存の宇宙用電池では適合できない。

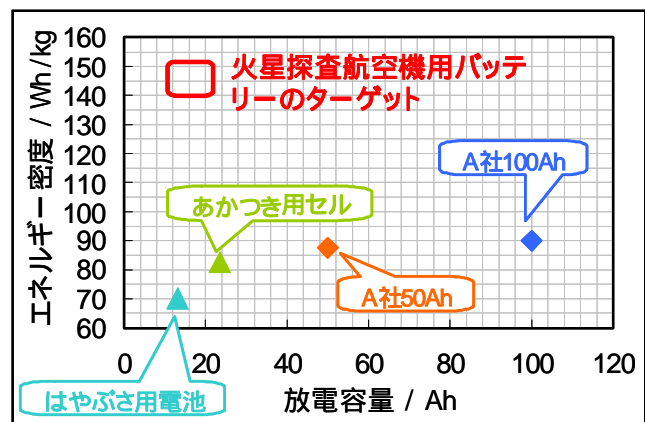


Fig.1 SUS ラミ電池への要求性能と既存電池の性能

民生用リチウムイオン電池はアルミラミネートフィルムをケースに用いて170~

200Wh/kgのエネルギー密度を達成しているが、宇宙用途では打ち上げ時の振動、衝撃や、真空環境下の使用に耐える頑丈な構造が要求されるため、堅固な拘束具によってアセンブリする必要があり、その結果エネルギー密度は半分まで低下する。これらの課題を解決する手段として、我々はアルミラミネートフィルムより堅固で、従来の缶タイプの電池より軽量なステンレス箔ラミネートフィルムをケース材料に採用した。

Table1 SUS ラミ電池の仕様

定格容量	8.66 ~ 10Ah
定格電圧	3.7V
形状	片側エンボス
SUS フィルム厚み	100 μm
質量	> 330g
エネルギー密度	118Wh/kg

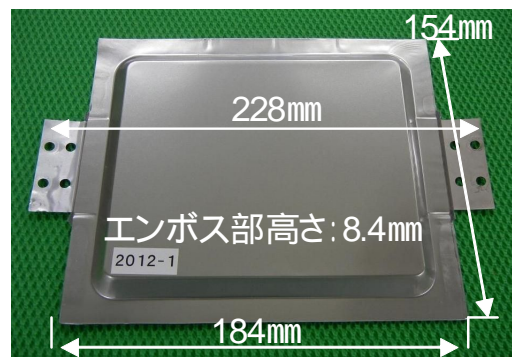


写真1 SUS ラミ電池の外観

2.2. ステンレス箔ラミネートリチウムイオン電池の仕様

開発した10Ahのステンレス箔ラミネートリチウムイオン電池(以下、「SUS ラミ電池」と記す)の仕様をTable1

に、外観を写真1に示す。容量優先設計、出力特性優先設計の違いにより定格容量は異なるが、118Wh/kgのエネルギー密度を有しており、高容量化の検討で更なるエネルギー密度の向上が期待できる。

3. ラミネートフィルムケースの耐真空構造

3.1. 真空下におけるSUSラミ電池の充放電挙動

減圧環境下において SUS ラミ電池の充放電試験を実施し、SUS ラミネートフィルムケースの耐真空構造の検証を行った。比較のため、同じ形状のアルミラミネートリチウムイオン電池（以下、「AL ラミ電池」と記す）も試験した。両者とも、ラミネートフィルムケースを金属板により拘束した状態、拘束なしの状態での試験に投入した。

減圧環境下における充放電挙動を Fig.2 に、ラミネートフィルムケースの変化を写真2に示す。AL ラミ電池は拘束なしの状態では初回のサイクルで大きく膨張、変形し、充電後直ちに導通不良により使用不能となった。AL ラミ電池は拘束ありの状態でもサイクルの進行に伴う電池特性の低下が顕著で、拘束部以外での異常の発生が推定された。これに対し SUS ラミ電池は拘束なしの状態でも殆ど変形せず、充放電容量が僅かに低下したのみで、拘束した状態での試験と同様の充放電性能を示した。

減圧環境下での SUS ラミ電池の充放電は100 サイクルまで継続し、拘束あり、なし共に大きな特性低下が無く充放電可能であることを確認した。

3.2. 減圧環境下長期サイクル寿命試験

宇宙空間で長期間、SUS ラミ電池を使用した際の耐圧性能、電池特性を確認するため、減圧環境下で 1000 サイクルの充放電試験を実施した。容量維持率の推移を Fig.3 に示す。試験は拘束ありの SUS ラミ電池で行った。1000 サイクル経過後、SUS ラミ電池は容量維持率 89%と良好に特性を維持している。1000 サイクル経過時点で、減圧環境下での試験は約1年に達したが、SUS ラミネートフィルムケースは表面に僅かな皺が見られたのみで、電池の開裂、液漏れ等、致命的なトラブルは無く、安定に使用可能であった。

減圧環境下における充放電サイクル試験の結果から、SUS ラミネートフィルムケースを用いたリチウムイオン電池は耐真空構造の要求を満たし、宇宙用として有望である事が確認できた。

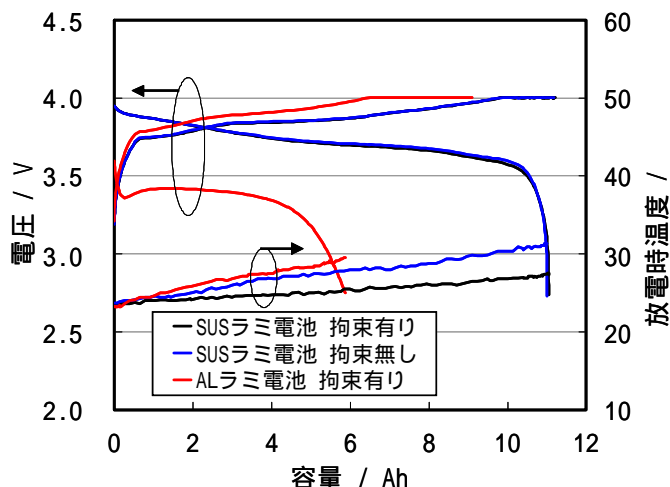


Fig.2 減圧環境下における充放電サイクル挙動

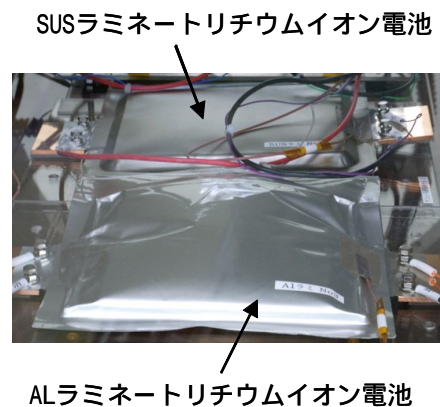


写真2 減圧環境下のラミネートフィルムケースの変形

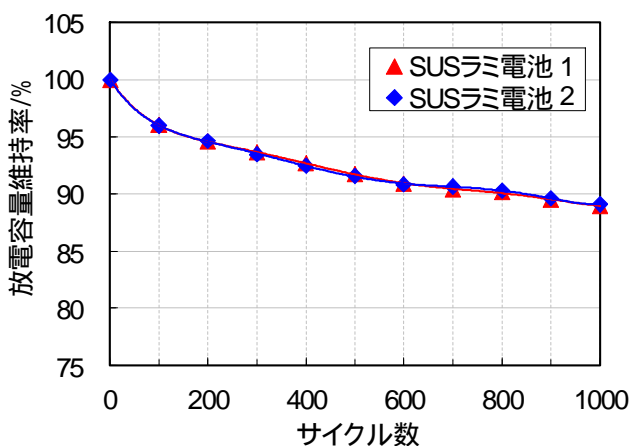


Fig.3 減圧環境下 長期サイクル寿命特性

4. 運用模擬試験

4.1. 冷熱衝撃試験

火星探査小型飛行機の電源電池として要求される条件を Table2 に示す。飛行機は火星まで母船で運ばれる計画であり、バッテリーの使用期間は短く、要求される電気量も比較的小さい。一方で、火星表面では-30 環境下での運用が想定されるため、優れた低温特性が要求される。

火星表面での低温環境運用を想定した冷熱衝撃試験を実施し、ミッションへの適合性を調査した。実際の運用において、バッテリーは温度管理が可能な母船搭載時に十分な充電を行い、飛行機が母船から切り離され観測が開始されると、急激に低温環境下に晒された状況で放電を開始する。本評価ではこの運用を模擬し、満充電状態の SUS ラミ電池を熱衝撃試験装置にセットし、要求される電力条件で放電を開始すると同時に-20 から-60 の熱衝撃を印加した。

冷熱衝撃試験の結果を Fig.4 に示す。本評価では低温特性を改善した定格容量 8.66Ah の SUS ラミ電池を使用した。-60 の環境下でも放電可能だが、20 における初期容量 9.2Ah に対し、-20 で 8.4Ah、-40 で 4.7Ah、-60 で 2.5Ah と、低温環境下で容量が大きく減少する傾向にある。特に放電平坦部の消滅が示す通り電圧特性の低下が著しい。

改善を図るため、充電制御電圧を通常の 4V から 4.25V に上げて試験した結果を Fig.5 に示す。20 における容量は 12Ah まで増加し、各冷熱衝撃下でも容量の増加が観察されたが、-40 以下の試験では、充電電圧を上げて 3V 以上で得られる容量は小さい。

火星探査時の予想温度は-31 だが、実際の運用でより低温となるケースも想定される事から、電池特性の改善の他、断熱等の対策が課題となる。

4.2. 機械環境試験

SUS ラミ電池の構造が衛星打上げ時の振動や衝撃に耐える構造であることを確認するため、機械環境試験を実施した。本評価は、暫定的に H2A ロケットによる打上げを想定した条件で、ランダム振動試験、正弦波振動試験、パイロ衝撃試験を実施した。SUS ラミ電池の各軸の設定を Fig.6 に示す。

Table2 火星探査小型飛行機用電池の要求条件

火星環境 (高度 0m)	気圧	0.7kPa
	温度	-31
運用期間	待機期間	0.5~1.5 年
	飛行期間	約 30 分
要求負荷	電圧	12V
	電流	17A

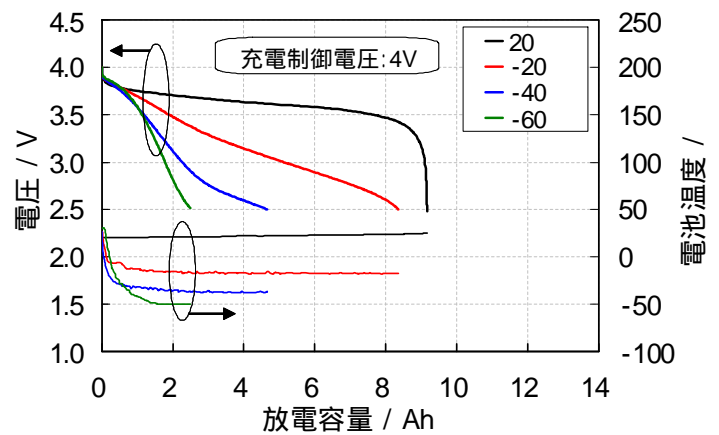


Fig.4 冷熱衝撃試験における SUS ラミ電池の放電挙動
充電制御電圧：4V

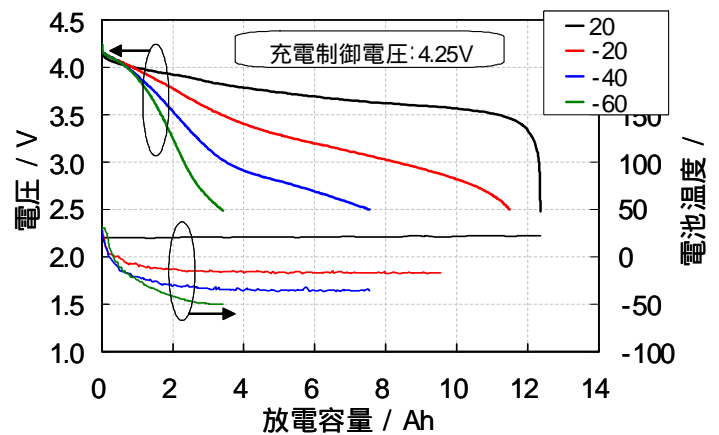


Fig.5 冷熱衝撃試験における SUS ラミ電池の放電挙動
充電制御電圧：4.25V

4.2.1. 振動試験

満充電状態の SUS ラミ電池に最大 17 G のランダム振動を印加した。ランダム振動試験時の電圧、温度の推移を Fig.7 に示す。SUS ラミ電池の電圧、温度に急激な変化は無く、電池の故障に起因する異常な挙動は観られなかった。同様に、満充電状態の SUS ラミ電池に最大 25 G の正弦波振動を印加した試験においても、電池の故障、変形に起因する電圧、温度の変化は観られなかった。

4.2.3. パイロ衝撃試験

満充電状態の SUS ラミ電池にパイロ衝撃を印加した。衝撃を印加した際の電圧、温度の挙動を Fig.8 に示す。最大で 900 G の衝撃を SUS ラミ電池に印加したが、電圧、温度に急激な変化は無く、SUS ラミ電池の故障に起因する異常な挙動は観られなかった。

4.2.4. 機械環境試験後の SUS ラミ電池の変形

機械環境試験に供した SUS ラミ電池の試験後の状態を写真 3 に示す。ラミネートケースに僅かな変形が観察されたが、ケースの開裂や大きな屈曲等、充放電機能の大幅な低下や損失に繋がる致命的な故障が発生していない事を確認した。

5. おわりに

SUS ラミネートフィルムを電槽に用いた小型、軽量のリチウムイオン電池を開発した。

SUS ラミ電池は真空減圧下でもケースの膨張、変形が小さく充放電可能であり、約 1 年サイクル寿命試験を継続した後も電池特性に影響を及ぼす致命的な故障は発生せず、宇宙用途として優れた耐真空構造を示した。

火星探査運用を想定した冷熱衝撃試験では、-40 以下における電圧特性の低下が大きく、断熱等の対策が必要である。

ランダム振動試験、正弦波振動試験、パイロ衝撃試験の結果、ラミネートフィルムケースが僅かに変形したのみで、SUS ラミ電池の故障に起因する電圧、温度の変化は観察されなかった。

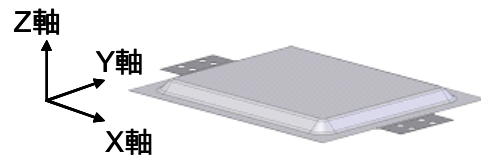


Fig.6 SUS ラミ電池の軸の方向

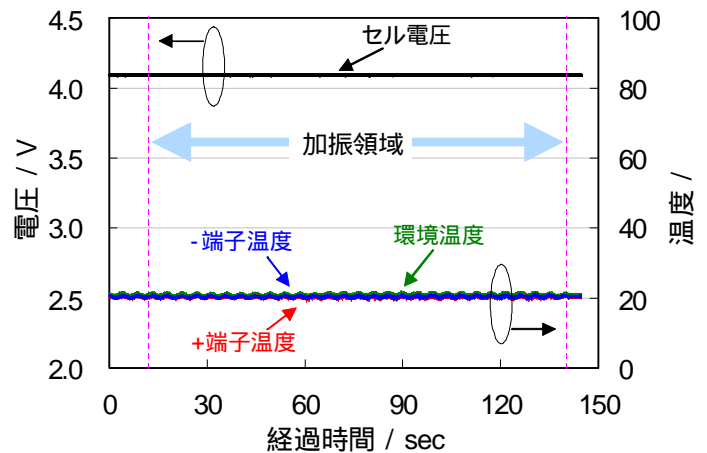


Fig.7 ランダム振動試験：Z軸方向

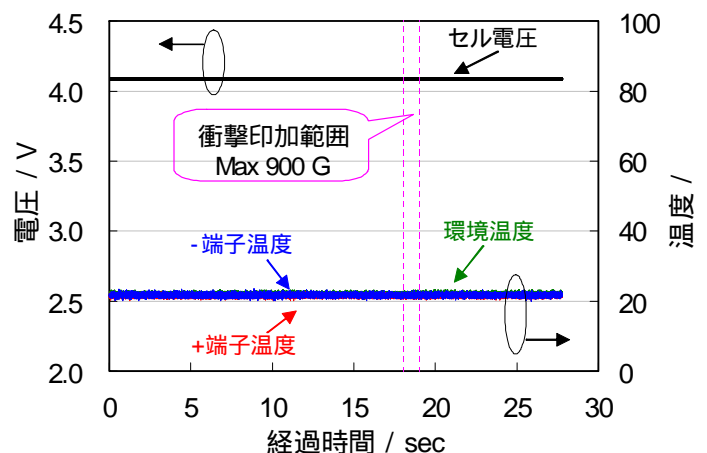


Fig.8 パイロ衝撃試験：Z軸方向

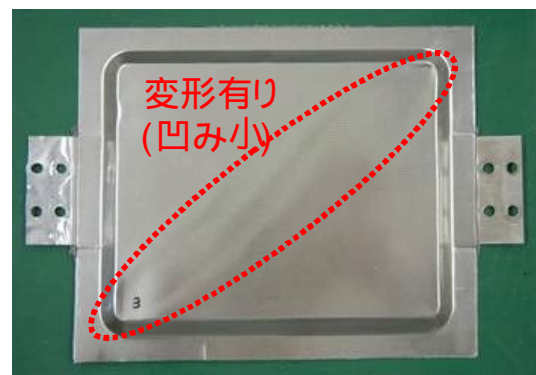


写真 3 機械環境試験後の SUS ラミ電池の外観
：衝撃試験実施後の SUS ラミ電池

参考文献

- 1) 豊田, 大平, 山本, 阿部：第31回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集、(Feb 2012)