

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

Kazuya Koide¹⁾, Hiroki Ooto¹⁾, Hiroyuki Toyota²⁾, Kenji Ohira¹⁾, Hidetoshi Abe¹⁾

¹⁾The Furukawa Battery Co. LTD.,

23-6 Kuidesaku, Joban-shimofunaomachi, Iwaki, Fukushima 972-8501, Japan

²⁾Institute of Space and Astronautical Science/JAXA,

3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa 252-5210, Japan

Abstract :

The Battery which uses for space applications has been shifted to the lithium-ion battery from the alkaline batteries such as Ni-Cd batteries and Ni-MH battery. As a result, the energy density of one per cell has been improved greatly to more than 100 Wh/kg. However, the energy density of battery unit or module is significantly low as compared with a cell. As a result of tolerance of vibration and vacuum environment, cells must be restrained by rigid jig. Moreover some small satellites and planetary exploration spacecraft need batteries having smaller capacity of less than 10 Ah and higher energy density, conventional space batteries are unable to meet this requirement.

Then, we have developed the 10 Ah-class stainless steel laminate pouch cell which has a high energy density such as 118Wh/kg. Stainless steel laminates are lighter than metal can case has been used in conventional battery for space, and its mechanical strength is higher than aluminum laminates has been used in consumer applications such as mobile phone, smart phone, and other portable devices. While improving the energy density per cell, it might be minimized the energy density of the battery unit modularization.

Here we report the results of investigation the lightweight and simple battery of stainless steel laminate pouch cells.

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 その2

小出和也¹⁾、大登裕樹¹⁾、豊田裕之²⁾、大平賢治¹⁾、阿部英俊¹⁾

¹⁾古河電池株式会社 ²⁾JAXA 宇宙科学研究所

1. はじめに

宇宙用電池は Ni-Cd 電池や Ni-MH 電池等の従来電池からリチウムイオン電池に移行し、セル当りのエネルギー密度は 100Wh/kg 以上と大きく向上した¹⁾²⁾。しかしながら電池ユニット・モジュールについては、耐衝撃・振動、耐真空環境性能を持たせるため、そのアッセンブリにおいて、セルを強固な冶具で拘束する必要があり、エネルギー密度の低下を避けられない問題があった。また、惑星探査など質量制限の厳しいミッション、例えば火星探査ミッションにおける小型飛行機³⁾や、ローバー、または小型月着陸実験機では、要求される電池容量が 10~20Ah と比較的小さい一方、エネルギー密度は 150Wh/kg と高い値であり、さらなる軽量化・エネルギー密度の向上を求められている。

「はやぶさ」搭載仕様セルを一例として挙げると、セル重量は 570 g であり、電池質量の内、20%前後を外装体が占める。また1つ当たりのエネルギー密度は 85 Wh/kg であるが、組電池化するためにアッセンブリを行うと元の値の 80%前後までエネルギー密度が低下する。

これらの課題を解決する手段として、我々はステンレス箔ラミネートフィルム（以下 SUS ラミネート）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てきた。SUS ラミネートケースは、従来の宇宙用電池で使用されてきた金属缶ケースより軽く、また民生用途で多く使用されているアルミラミネートケースより剛性が高いため、セル1個当りのエネルギー密度を向上させながらも、電池ユニット・モジュール化でのエネルギー密度の低下を最小限に抑えることができる可能性がある。

ここでは、試作した SUS ラミネートリチウムイオン電池の基本的な特性と、電池ユニット・モジュール化を検討した結果について報告する。

2. SUS ラミネートの有効性

2. 1. 膨張度確認試験

SUS ラミネートを宇宙用リチウムイオン電池の外装として使用した際の有効性を確認するため、減圧環境下におけるセルの膨れ度合いを調査した。方法は、略同等サイズの SUS ラミネート、および AL ラミネートのケースを用いてダミーセルを作製し、それらを真空デシケーター内で同時に減圧を行った際の膨張度合い（厚み）をダイヤルゲージで測定する手法で行った。

ダミーセルの中身は以下に示す A、B の各条件で作製したものを封入した。尚、条件 B に使用した DMC はリチウムイオン電池では一般的に用いられる電解液の中であり、比較的蒸気圧が高いことから選定した。内圧として条件 A では約 1 気圧が、条件 B は DMC の蒸気圧がダミーセルに掛かることになる。

条件 A : 空の状態脱気せずにシール（内圧≒1 気圧=100 kPa）

条件 B : DMC（ジメチルカーボネート）を 50 g 入れ、脱気シールを行う。

条件 A の試験の様子を図 1 に、また環境減圧値と変位量（≒ダミーセルの膨れ量）の関係をグラフ化したものを図 2 に示す。試験では減圧を開始すると SUS ラミネート、Al ラミネートのどちらも膨張することが

確認されたが、その膨張の度合いに違いが見られた。図1では常圧から-40 kPa 減圧（ゲージ圧）した様子と-50 kPa 減圧した様子を示したが、両者の膨張度合いは、目視で確認できる程の差が現れていることが分かる。また図2のグラフから、-20 kPa（ゲージ圧）の減圧まで両者は略同等に膨れるが、-30 kPa以下の領域では、SUS ラミネートが Al ラミネートより膨張が少ないことが確認された。これらはラミネート基材となる SUS 材の剛性が Al 材より高いことが要因と考えられる。

続いて条件Bの試験の様子を図3に示す。大気圧付近では、両者とも膨張はないが、1 kPa（絶対圧）を下回ったところで Al ラミネートが膨張した。SUS ラミネートは最大 0.011 kPa まで減圧したが、目視で判断できる程度の膨張は確認されなかった。これら試験から、SUS ラミネートは変形が小さい、または膨張せず、減圧環境下でも性能低下のないセルが作製可能であると示唆された。

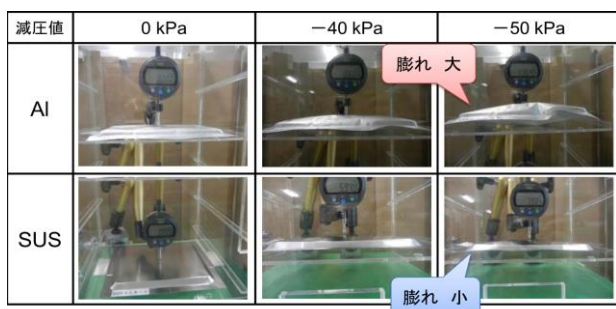


図1 条件Aの試験の様子

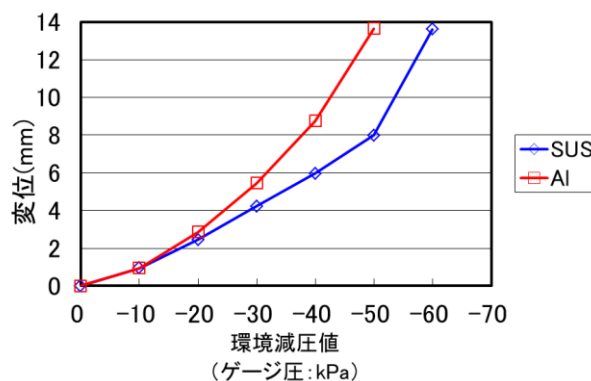


図2 環境減圧値と変位量の相関

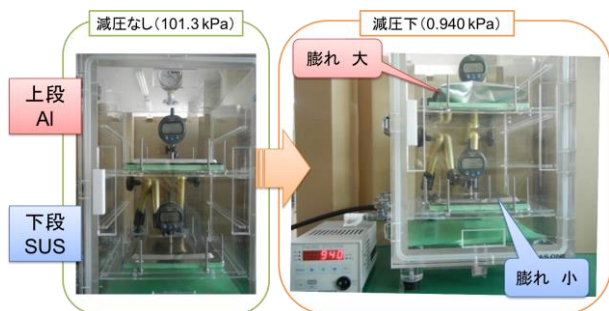


図3 条件Bの試験の様子

2. 2. SUS ラミネート電池の仕様と減圧環境下での充放電試験

開発した 10Ah の SUS ラミネート電池の仕様を表1に、外観と寸法を図4に示す。セル重量は 330g 以下であり、同容量のステンレス缶ケースの電池と比較した場合、約 30%の軽量化が達成されている。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。

減圧環境下で実施した SUS ミネート電池の充放電試験を、図5に示す。比較のため同一形状のアルミラミネート電池も製作し、それぞれ金属板による拘束有り/無し状態で試験を実施した。アルミラミネート電池は容量低下や、膨張・変形に伴い導通不良を起こす不具合が見られた一方で、SUS ラミネート電池では、拘束の有り/無しにかかわらず、大気圧で実施した充放電試験の結果と同等の性能を示すことが確認された⁴⁾⁵⁾⁶⁾。続いて、長期の充放電サイクル試験の結果を図6に示す。拘束有りの SUS ラミネート電池については性能低下等見られず良好な結果であることは既報の通りであるが、それと比較して拘束無しの SUS ラミネート電池については容量低下が起きていることが確認された。

表1 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 μ m
質量	>330g
エネルギー密度	118Wh/kg

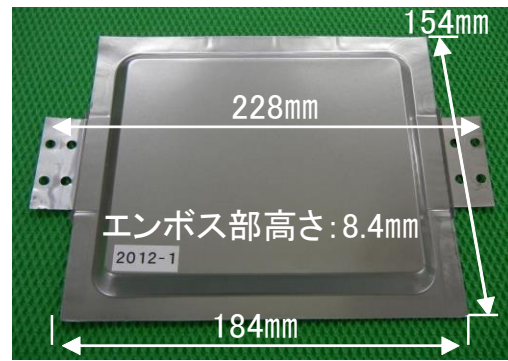


図4 SUS ラミ電池の外観

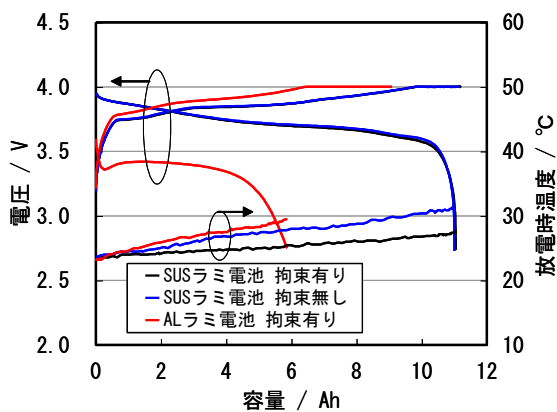


図5 減圧下における充放電挙動

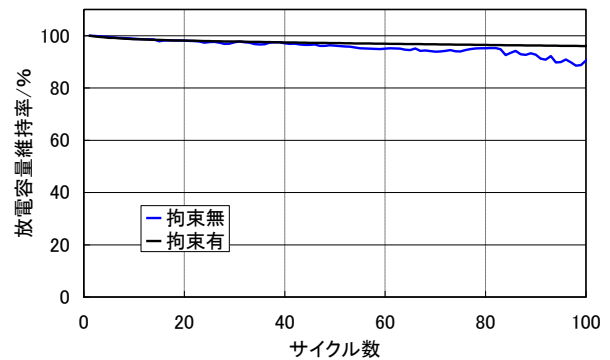


図6 減圧下における充放電サイクル試験結果

3. CFRP 治具検討状況

実際のセルを使用した充放電試験では、数サイクルのレベルでは顕著な低下は見られず、アルミラミネートに対する明確な優位性を確認した。しかしながら長期間におけるサイクル試験では性能低下が発生することが確認されている。これは充放電に伴う電解液の分解等によるガス発生により、電極の極間が開き抵抗増大、または通電不能になるためと考えられる。この場合、最悪の結果としてセル内部の短絡による事故の可能性も考えられるため、何らかのセル拘束治具の検討が必要となる。拘束治具に求められる要件としては、「ラミネート、電極、(配線)の相対位置を大きく変えない構造」、「軽ければ軽いほど良い」、また「振動・衝撃、真空環境に耐えられる強度」であることが挙げられる。

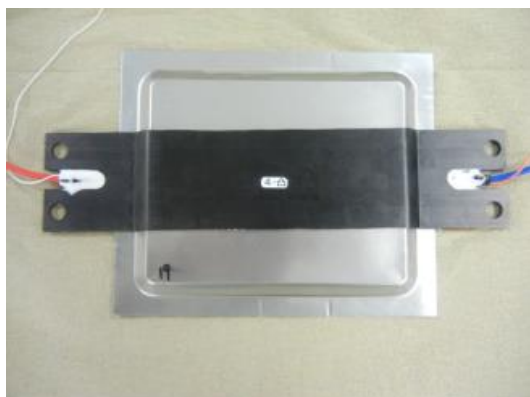


図7 タイプAの拘束治具を取り付けたセル

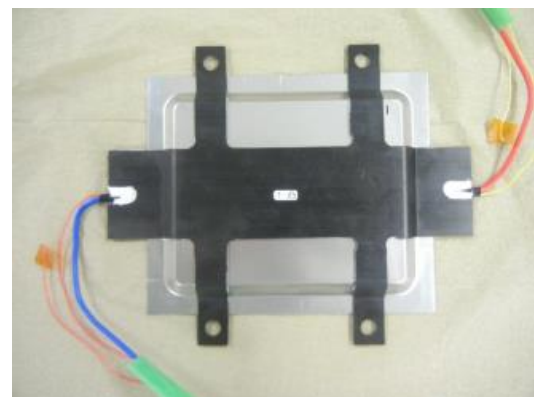


図8 タイプBの拘束治具を取り付けたセル

これらの考えに基づき検討した拘束治具を図7、図8に示す。2つの電極とセル中央を覆う帯状のCFRP板 (t=1.5 mm) を、SUSラミネートセルの形状に合わせて成型した。SUSラミネートセル、CFRP製拘束治具、接着剤、電線50cm程度を含んだエネルギー密度は、図4のタイプAでは84.4 Wh/kg、図5のタイプBでは79.5 Wh/kgとなった。SUSラミネートセル単体のエネルギー密度は118 Wh/kgであることから、今回の試作では3割程度低下すると算出される。拘束具の軽量化は引き続き実施する予定である。

拘束を行ったセルは振動試験を実施し、その妥当性を検証した。加振条件を表2に示す。尚、加振機へは4点で固定し、加振中はセルを3Aで放電し、端子電圧とセル温度をモニターした。

試験中のモニターをグラフ化した一例(タイプB、Z軸、正弦波振動)を図9に示す。加振中の、電池電圧、放電電流、セル温度に脈動は見られず、セルに異常のないことが確認された。また試験前後で充放電特性に有意な変化はなく、この構造で十分な強度を実現できることが確かめられた。

表2 加振条件

ランダム振動条件

振動数 (Hz)	振動レベル
20~70	+3dB/oct
70~260	0.35G ² /Hz
260~400	-6dB/oct
400~1000	0.15G ² /Hz
1000~2000	-4dB/oct
Over All 17.0 Grms	

正弦波振動条件

20-100 Hz	10 Grms
-----------	---------

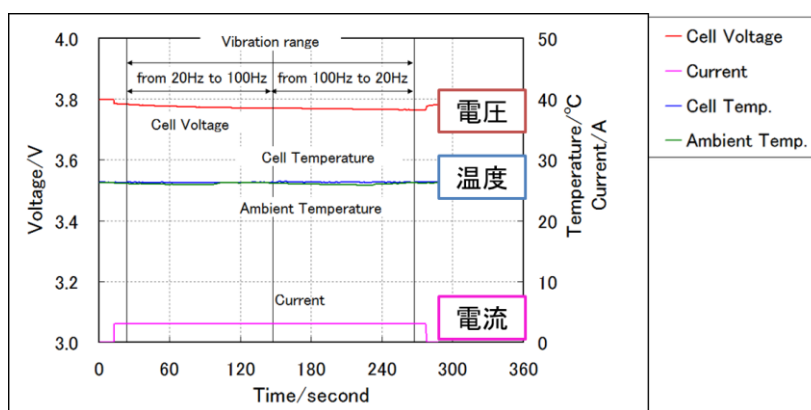


図9 タイプBのZ軸、正弦波振動中のモニター

4. まとめ

SUSラミネートを宇宙用リチウムイオン電池の外装として使用した際の有効性を確認するため、減圧環境下におけるダミーセルの膨れ度合いを調査した。調査の結果、SUSラミネートの方がAlラミネートより膨張が少ないことが確認された。この結果はラミネート基材の剛性がAl材より高いことが要因と考えられる。

しかしながら、実際のセルにおいて、電解液の分解等が原因と見られるガス発生により性能低下が発生するため、セル拘束治具の検討が必要である。拘束治具に求められる要求を満たすため、今回はCFRP板を拘束治具として検討した。振動試験では、加振中の電池電圧に異常は見られず、また試験前後で充放電特性に有意な変化はなく、十分な強度を実現できることが確かめられた。

参考文献

- 1) 大登, 他, : “小惑星探査機「はやぶさ2」用リチウムイオン二次電池の開発” 第31回宇宙エネルギーシンポジウム, (Feb 2012)
- 2) 小出, 他, : FB テクニカルニュース, No. 69, p 32 - 38 (2013)
- 3) 豊田, 他, : “火星探査航空機の電源系検討状況” 第31回宇宙エネルギーシンポジウム, (Feb 2012)
- 4) 大登, 他, : “宇宙用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” 第33回宇宙エネルギーシンポジウム, (Feb 2014)
- 5) H. Ooto, et al., Proc. of the ‘10th European Space Power Conference’, (Apr 2014)
- 6) 小出, 他, : FB テクニカルニュース, No. 70, p 33 - 38 (2014)
- 7) 豊田, 他, : “火星探査を実現する軽量の太陽電池およびバッテリーの開発”, 第58回宇宙科学技術連合講演会, (Nov 2014)