

航空機用大形リチウムイオン電池の開発

Development of Large-sized Lithium-ion Battery for Aviation Applications

上 田 純 也* 石 田 義 貴* 志 築 隆 弘** 園 田 輝 男*

Jyunya Ueda Yoshitaka Ishida Takahiro Shizuki Teruo Sonoda

Abstract

The application of lithium-ion battery in aviation use has been examined in recent years because it is able to contribute the reduction of the aircraft operating cost by making the airframe light and saving the fuel consumption. GS YUASA has long-term experiences of manufacturing large-sized lithium-ion cells and batteries for various applications. Based on fostered technologies by these experiences, we have developed new large-sized lithium-ion cells, "LVP10" and "LVP65". The batteries using these cells have also been developed for aviation applications. Nominal capacities of "LVP10" and "LVP65" are 10 and 65 Ah, respectively. These cells work as a power source for engine start or backup of electric devices in airplane. They are optimized to achieve high rate discharge capability and long life required for aviation application; for example, "LVP10" type cell has dischargeable capacity of 99% at large current of 5 I_t A based on that of 1 I_t A, and "LVP65" type one has good capacity of 89% after 1000 cycles of full charge-discharge cycle life test at 25 °C. The batteries, "LVP10-7" and "LVP65-8" are designed to have high durability to severe environmental conditions and operational conditions simulated in airplane. Additionally, "LVP65-8" battery is equipped with the battery monitoring unit and internal contactor to ensure its safety during operation. These new lithium-ion batteries are being tested on actual airplane to extract potential problems for the further improvement. They are going to be applied to actual commercial airplane.

Key words: Lithium-ion battery; Airplane; High rate discharge

1 緒言

近年、地球温暖化による気候変動の問題が大きく取り上げられている。その対策の一つとして温室効果ガスの排出量を低減させるための取り組みが、さまざまな分野でおこなわれており、たとえば環境にやさしく

燃費のよい電気自動車の開発などはその一例である。航空機においても燃料消費をできるだけ少なくして、温室効果ガスの排出量を低減させるための技術開発が進められており、例えば機体の軽量化もその一つである。

航空機にはいくつかの電池が搭載されており、それらの多くはエンジンのスターター用や電子機器類のバックアップ用の電源として使用されている。これらの電池には鉛蓄電池やニッケルカドミウム電池が主と

* 研究開発センター 第三開発部

** (株)ジーエス・ユアサ テクノロジー 事業推進部

して使用されてきたが、高容量・高エネルギー密度であるリチウムイオン電池に置き換えることによって、機体を軽量化することができ、機体の燃料消費を大幅に抑えることができる。

当社では、すでに大形リチウムイオン電池として、産業用途向けの「LIM シリーズ」¹²⁾ や、宇宙などの特殊環境用途向けのリチウムイオン電池³⁾を量産・販売しており、これまでに長期間運用した実績がある。そこで、これらの事業でつちかった技術をもとに、あらたに航空機用電池として、10 Ah 級の“LVP10”とその組電池“LVP10-7”および 65 Ah 級の“LVP65”と“LVP65-8”を開発した。本報告では、これらの航空機用大形リチウムイオン電池およびその組電池の諸特性についてのべる。

2 特長と性能

2.1 特長

航空機用大形リチウムイオン電池“LVP10”および“LVP65”の外観写真を Fig. 1 に、仕様を Table 1 にそれぞれ示す。これらの電池のケースは、いずれもステンレス製の角形形状とした。角形のケースは、表面積が大きく放熱性にすぐれており、大電流放電時においても電池温度が上昇しにくい特長がある。さらに、角形形状であることにより、電池を密に配置することができるために、体積効率の高い組電池設計が可能となる。LVP65 電池の内部の構造を Fig. 2 に示す。LVP10 電池も類似の構造である。電池の内部は、産業用大形リチウムイオン電池“LIM40”¹²⁾と同様に、巻



Fig. 1 Outer appearance of LVP10 and LVP65 type lithium-ion cells.

回形電極群の両端に、それぞれ正・負極の集電体を配した構造であり、構造部材による内部抵抗を最小限に抑える設計となっている。これらの特長に加えて、さらに航空機用電池として下記に示す改良をおこなった。

- (1) エンジンスタートに必要な大電流放電性能と非常時のバックアップ性能とを両立するために、極板設計を最適化した。
- (2) エンジンスタート時の大電流放電に耐えるために、端子などの通電部の面積を大きくした。
- (3) 機体中の限られたスペースを有効に活用するために、電池の高さを大きくして、その設置面積をできるだけ小さくした。

Table 1 Specifications of LVP10 and LVP65 type lithium-ion cells.

Model	LVP10	LVP65
Nominal capacity / Ah	11.5	75
Nominal voltage / V	3.7	3.7
Dimensions / mm	H 80*	178*
	W 130	133
	L 21	51
Mass / kg	0.5	2.8
Specific energy / Wh kg ⁻¹	85	99
Energy density / Wh L ⁻¹	195	230

* Without terminal height

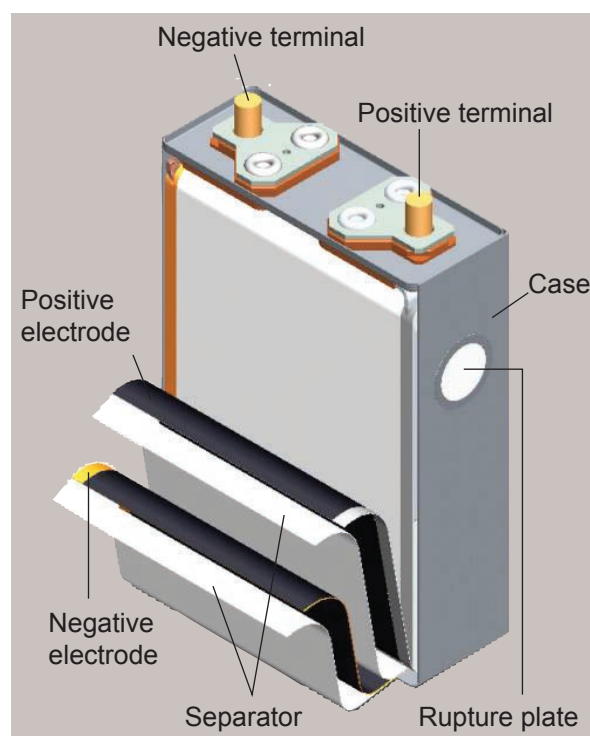


Fig. 2 Schematic structure of LVP65 type lithium-ion cell.

2.2 性能

2.2.1 LVP10 電池

LVP10 電池を 25 °C において 10 A で 4.0 V まで定電流で充電し、ひきつづき合計 3 時間、定電圧で充電したときの充電特性を Fig. 3 に示す。この電池は、完全放電状態から 80% 以上の充電深度 (SOC) まで 1 時間で充電することが可能である。航空機は離陸の際に電池の SOC が高い状態であることを義務づけられているため、このすぐれた充電受入性能によって、離陸までの時間を短縮することができる。また、Fig. 4 に、同条件で充電したのち、10、30 および 50 A の電流値

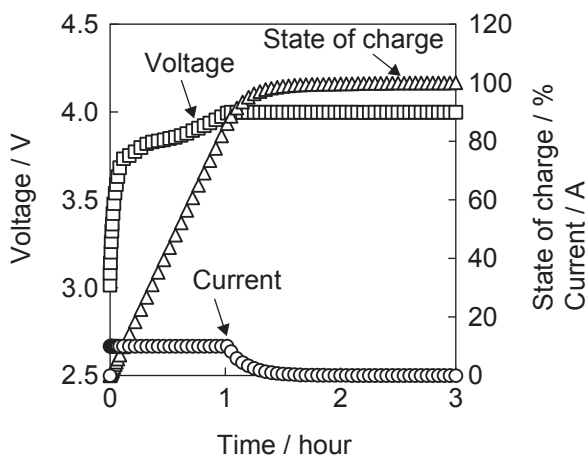


Fig. 3 Charge characteristics for LVP10 type lithium-ion cells. The cells were charged at 10 A to 4.0 V for 3 hours in total at 25 °C. Voltage (□), state of charge (△), and current (○).

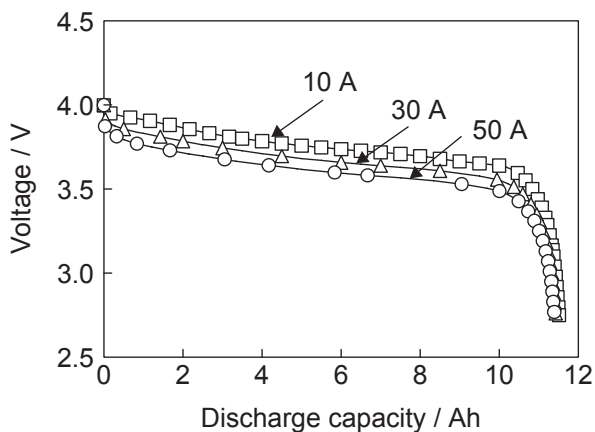


Fig. 4 Discharge characteristics at various currents of 10 A (□), 30 A (△), and 50 A (○) at 25 °C for LVP10 type lithium-ion cells. The cells were discharged to 2.75 V after charged at 10 A to 4.0 V for 3 hours in total at 25 °C.

で 2.75 V まで放電したときの放電特性を示す。放電電流が大きくなると分極の増大による電池電圧の低下が認められるが、50 A (5 I_L) 放電においても 10 A 放電時の 99% 以上の容量を放電できることがわかる。このようなすぐれた放電性能は、材料や電極処方の最適化によって実現した。

2.2.2 LVP65 電池

LVP65 電池の放電性能を評価するために、環境温度 25 °C にて 70 A で 4.025 V まで定電流で充電し、ひきつづき同じ電圧で充電時間が合計 3 時間、定電圧充電したのち、50、200 および 700 A の電流値で 2.75 V まで放電をおこなった。その放電性能を Fig. 5 に示す。電流値が大きくなるにしたがって分極の増大ともなう電池電圧の低下が確認できるが、700 A (約 10 I_L) においても 50 A 放電時の約 97% という高い容量が得られることがわかる。つぎに、環境温度の影響をみるために、同一条件で充電して、環境温度を -20、0 および 25 °C にしてから、電池温度が環境温度と同等になるまで十分な時間放置したのち、70 A で 2.75 V まで放電した。そのときの特性を Fig. 6 に示す。環境温度が低くなるほど、電池電圧が低下するものの、-20 °C の低温下においても 25 °C の放電容量の 98% という高い値が得られることがわかる。すなわち、LVP65 は航空機用途で想定されるような幅広い温度範囲において、すぐれた放電性能を維持することができる電池であるといえる。

寿命性能を評価するために、サイクルおよびカレンダー寿命試験をおこなった。サイクル寿命試験として、

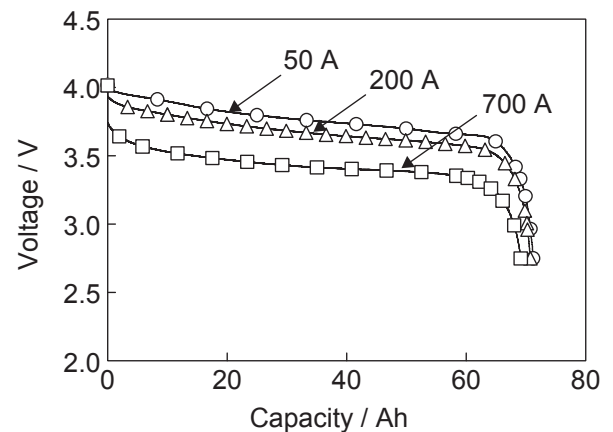


Fig. 5 Discharge characteristics at various currents of 50 A (○), 200 A (△), and 700 A (□) at 25 °C for LVP65 type lithium-ion cells. Cells were discharged to 2.75 V after charged at 70 A to 4.025 V for 3 hours at 25 °C.

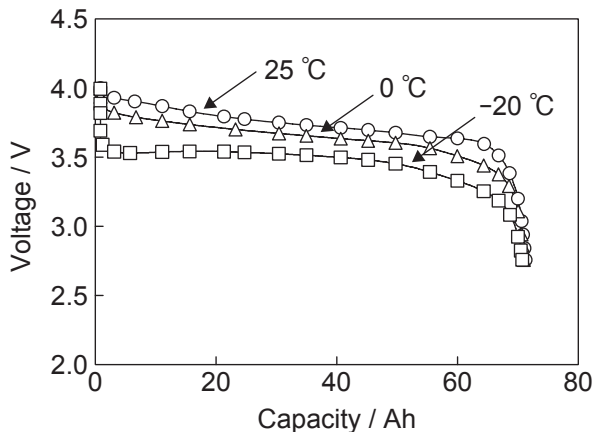


Fig. 6 Discharge characteristics at 50 A under various temperatures of 25 °C (○), 0 °C (△), and -20 °C (□) for LVP65 type lithium-ion cells. Cells were discharged to 2.75 V after charged at 70 A to 4.025 V for 3 hours at 25 °C.

環境温度 25 および 45 °C における 100% DOD 充放電性能を調べた。試験条件は、70 A で 4.025 V まで 3 時間充電し、その後 70 A で 2.75 V まで放電するパターンを 1000 回繰り返した。その結果を Fig. 7 に示す。図から、1000 サイクル後の容量は、初期のものに比較して、25 °C では 89%、45 °C では 81% であることがわかる。また、サイクルの進行とともに電池の内部抵抗の推移も測定した。内部抵抗の値は、25 °C において電池を所定の SOC まで充電したのち、ひきつづき 35 から 120 A の電流値で所定時間放電したときの電池電圧と放電電流との関係から算出した。電池の内部抵抗は 1000 サイクル後において、25 °C では初期値からほとんど変化しておらず、さらに 45 °C でも、増加率は 22% と小さい。このことは、LVP65 電池がエンジンスタートに必要な出力放電性能を長期間にわたって維持できることを示している。つぎに、カレンダー寿命試験として、環境温度 25 および 45 °C における性能を調べた。試験条件は、それぞれの環境温度において LVP65 電池を 70 A で 4.025 V まで充電して、ひきつづき同じ電圧で 15 日間、30 日間あるいは 90 日間充電したのちに、70 A で 2.75 V まで放電するという定電圧充電寿命試験を繰り返しおこなった。その放電容量および電池内部抵抗の推移を Fig. 8 に示す。日数の経過とともに放電容量は低下したが、試験前の放電容量と比較すると、270 日目において 25 °C で 91%、45 °C で 84% の放電容量を維持している。また、内部抵抗の 270 日目における増加率は、25 °C で 4%、

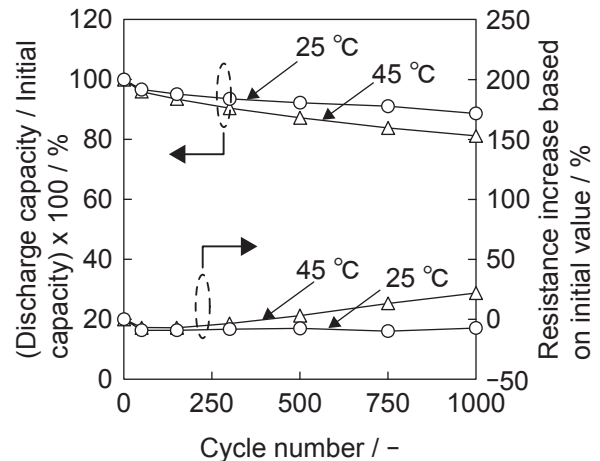


Fig. 7 Charge and discharge cycle life performance for LVP65 type lithium-ion cells with cycling under 25 °C (○) and 45 °C (△). The cells were discharged to 2.75 V at 70 A after charged at 70 A to 4.025 V for 3 hours in total at 25 and 45 °C.

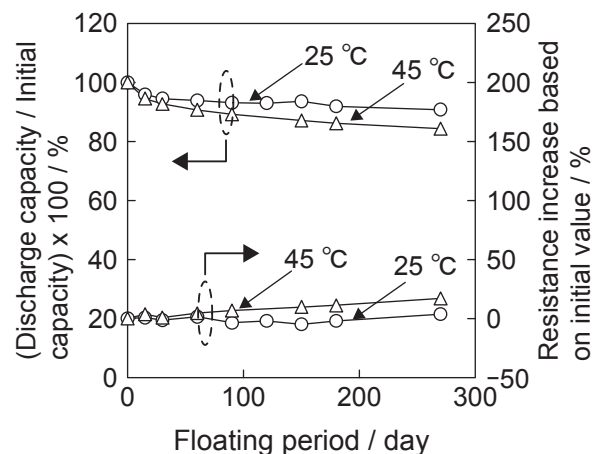


Fig. 8 Calendar life performance for LVP65 type lithium-ion cells under floating conditions of 4.025 V at 25 °C (○) and 45 °C (△). The cells were charged at 70 A to 4.025 V at 25 and 45 °C. Capacity was checked periodically to confirm the retained cell capacity at the discharge condition of 70 A to 2.75 V at 25 °C.

45 °C で 17% であり、サイクル寿命試験結果と同様に内部抵抗の変化が非常に小さく、良好な性能であることがわかる。

3 組電池

3.1 LVP10-7 電池

LVP10 電池を 7 直列に接続した組電池 “LVP10-7”

の外観写真およびおもな仕様をそれぞれ Fig. 9 および Table 2 に示す。外部の組電池監視装置 (BMU) に電池電圧と電池温度とを出力するために、各電池には電圧検出リードとサーミスターとが取り付けられている。また、外部短絡が生じたときにも短絡電流によって外部機器を破損することを防ぐために組電池内部にヒューズが備えられている。

3.2 LVP65-8 電池

LVP65 電池を 8 直列に接続した組電池 “LVP65-8” の外観写真および仕様をそれぞれ Fig. 10 および Table 3 に示す。組電池内部には LVP65 電池に加えて、BMU とコンタクタとが備え付けられている。BMU は常に電池電圧および組電池内部温度を監視し、異常を検出した場合には、充電を停止するよう充電器に信号を出力する機能を備えている。また、常に電池電圧を均等化するためにバルンサー機能を備えている。これらの機能に加えて、航空機用電池に要求される高い信頼性を実現するために下記に示すような機能を追加した。

- (1) 組電池のいかなる故障も検知する自己診断機能
- (2) 過充電などの異常モードに対する独立二重保護機能
- (3) コンタクタを用いた組電池自身による異常充電遮断機能

つぎに、LVP65-8 組電池のエンジンスタート放電時の電圧挙動を Fig. 11 に示す。試験条件としては、環境温度 25 °C にて LVP65-8 組電池を 70 A で 32.2 V まで定電流で充電し、ひきつづき同じ電圧で充電時間が合計 3 時間となるように定電圧充電したのち、環境温度 25, 0 および -18 °C にて 15 kW の定電力放電をおこなった。図から、放電時のピーク電流は低温ほど大きくなり、-18 °C では 650 A を超えている。しかしながら、このような低温・大電流の放電条件においてもこの組電池は 20 V 以上の電圧を維持しており、すぐれたエンジンスタート特性を有していることがわかる。

Table 2 Specification of LVP10-7 type lithium-ion battery.

Model	LVP10-7
Nominal capacity / Ah	11.5
Nominal voltage / V	25.9
Dimensions (H x W x L) / mm	115 x 200 x 200
Mass / kg	5.2
Specific energy / Wh kg ⁻¹	57
Energy density / Wh L ⁻¹	65



Fig. 9 Outer appearance of LVP10-7 type lithium-ion battery.

Table 3 Specification of LVP65-8 type lithium-ion battery.

Model	LVP65-8
Nominal capacity / Ah	75
Nominal voltage / V	29.6
Dimensions (H x W x L) / mm	215 x 280 x 335
Mass / kg	28.5
Specific energy / Wh kg ⁻¹	78
Energy density / Wh L ⁻¹	110



Fig. 10 Outer appearance of LVP65-8 type lithium-ion battery.

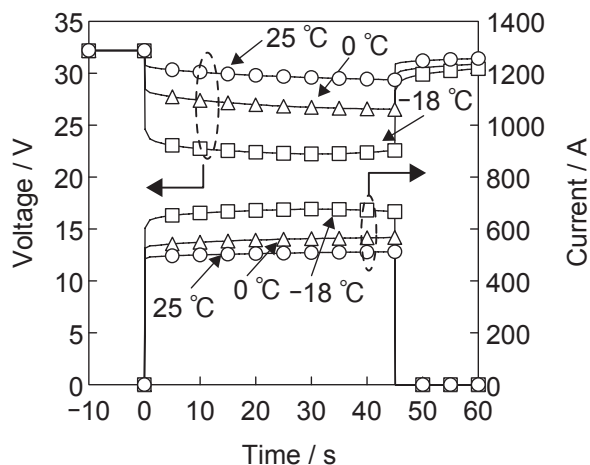


Fig.11 Discharge performances of LVP65-8 type lithium-ion batteries for engine start under various temperatures of 25 °C (○), 0 °C (△), and -18 °C (□). Fully charged batteries were discharged at constant power of 15 kW.

4 結言

航空機用大形リチウムイオン電池として、10 Ah級の“LVP10”および65 Ah級の“LVP65”を開発した。また、その組電池として、“LVP10-7”および

“LVP65-8”を開発した。これらの電池は充電性能、高率および低温放電性能、および寿命性能にすぐれており、さらに航空機用電池に求められる高い信頼性も兼ね備えている。従来航空機用電池に使用されてきた鉛蓄電池やニッケルカドミウム電池よりも高性能で軽量であることから、機体の燃費向上に大きく貢献すると期待できる。今後は電池を機体に搭載した飛行試験にて様々な性能評価をおこない、実用化への問題点を抽出する。また、さらなる電池性能の改良を目指して、航空機用リチウムイオン電池の開発に注力していく予定である。なお、本報告でのべた“LVP10-7”および“LVP65-8”は、ボーイング社の次世代航空機787型機に搭載され、運用されることになっている。

文 献

- 1) Y. Seyama, T. Shimozone, K. Nishiyama, H. Nakamura, and T. Sonoda, *GS News Technical Report*, **62** (2), 76 (2003).
- 2) I. Suzuki and T. Shizuki, *IEICE/IEEE INTELEC 2003 Proceedings*, p. 317, Yokohama (2003).
- 3) 曾根理嗣, 川崎治, 今村文隆, 井上剛文, 吉田浩明, 第50回電池討論会要旨集, p. 126 (2009).