

アイドリングストップ車用 12 V リチウムイオン電池の開発

Development of 12 V Lithium-ion Battery for Start and Stop Vehicle System

小西大助* 上田純也** 楠 寿樹**
牛 嶋 修** 青木 卓** 水田 芳彦***

Daisuke Konishi Jyunya Ueda Toshiki Kusunoki
Osamu Ushijima Takashi Aoki Yoshihiko Mizuta

Abstract

We have developed 12 V lithium-ion battery which consists of four 69 Ah cells, a relay ASSY, a current sensor and a battery management unit which has a LIN(Local interconnect network) interface with the vehicle ECU(Electronic control unit). External battery configuration is compatible with DIN LN5 for 12 V lead-acid battery, and operational voltage range is almost the same as the lead-acid battery. Therefore, the new lithium-ion battery is physically replaceable with the LN5 size lead-acid battery in the vehicle, however, the LIN interface protocol between the vehicle ECU and the battery management unit should be modified, and also the control of the alternator should be optimized for the lithium-ion battery. The new lithium-ion battery has some advantages in comparison with the traditional lead-acid battery in terms of light weight, high power and long life.

Key words: Lithium-ion battery; Lead-acid battery; Idling-stop; Start and Stop; Micro-hybrid; 12 V; Long life; Safe; LIN interface

1 緒言

アイドリングストップシステムは、電気自動車およびハイブリッド車と比べると、燃料節約やCO₂排出量削減効果は、相対的に小さいものの、自動車全体の

開発コストおよびシステムコストが抑えられ、既存車種への適用が比較的容易であることから、近年、欧州および日本において急速に普及しつつある。アイドリングストップシステムは、2007年頃から欧州で普及しはじめ、日本でも主要自動車メーカーが相次いで搭載している。そのシステムは自動車メーカー独自の名称で呼ばれていることが多く、一般的には、スタートアンドストップシステム、マイクロハイブリッドシステム、アイドリングストップシステムなどである。

当社が生産販売しているアイドリングストップ車用

* リチウムイオン電池事業部
** (株)リチウムエナジー ジャパン 技術部
*** リチウムイオン電池事業部 開発本部
第三開発部

の鉛蓄電池は、低コストながら過酷な自動車環境にも耐え、低温から高温まで安定したエンジンスタートができる非常に優れた電池であるが、近年、電池に求められる性能が非常に高まってきており、一部の車種においては、鉛蓄電池では対応できないケースが生じつつある。現在開発が進められている最新の自動車では、さらなる低燃料消費が求められる一方で、自動車の高度な電装化による高電力負荷が進んでおり、これにともない搭載する電池にも、高容量、高出力そして軽量化が求められている。これらに加えて、高安全、高信頼、長いサイクル寿命、高い回生電力受入能力、そして低自己放電なども必須要件として求められている。

今回開発したアイドリングストップ車用 12 V リチウムイオン電池は、欧州で一般的な DIN 規格の鉛蓄電池 LN5 サイズと互換性があり、動作電圧範囲もほ

ぼ同じであり、既存の鉛蓄電池との置き換えが容易である。しかしながら過充電などの不適切な利用を避けるために、電池に管理装置を含む保護機能を内蔵することで、想定されるあらゆるリスクに対応できるよう設計した。

本報告書では、このアイドリングストップ車用 12 V リチウムイオン電池の仕様、性能および安全機能を中心にのべる。

2 仕様

アイドリングストップ車用 12 V リチウムイオン電池 “019SLIB” の主要仕様、外観および内部構造に関して説明する。

2.1 主要仕様

今回開発した “019SLIB” の主要仕様とブロック図とをそれぞれ Table 1 と Fig. 1 とに示す。

“019SLIB” は、初期容量が 69 Ah のリン酸鉄系リチウムイオン電池 “LEV60F” を 4 直列に接続した構成であり、通常動作電圧範囲は、鉛蓄電池と互換性のある 7.0 ~ 14.4 V とすることができた。電池には、常に電池電圧と電池内温度を監視して電池情報を車両側へ通信する電池管理装置 (BMU)、通電電流を測定するためのシャント抵抗および異常時に電池回路を遮断するリレーを内蔵して高安全性および高信頼性を実現した。また、質量は同サイズの鉛蓄電池と比べて、ほぼ半分に軽減することができた。

2.2 外観

“019SLIB” の外観を Fig. 2 に示す。欧州で一般的な

Table 1 Specifications of 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

		019SLIB
Chemistry		Lithium Iron Phosphate / Graphite
Nominal capacity / Ah		69
Nominal voltage / V		13.2
Operational voltage range / V		7.0 to 14.4
Construction		Cell model : LEV60F Four LEV60F cells connected in series
Mass / kg		13.6
Series LN (DIN spec.)		LN5
Dimensions / mm	W	353
	L	175
	H	190
BMU, Relay, Shunt resistor		Equipped

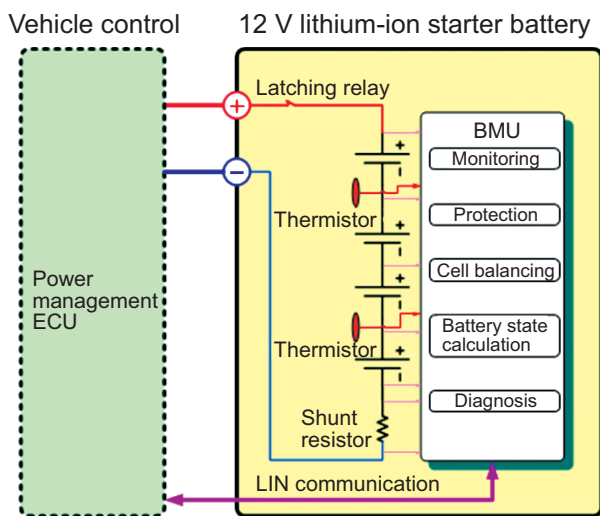


Fig. 1 Control block diagram of 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

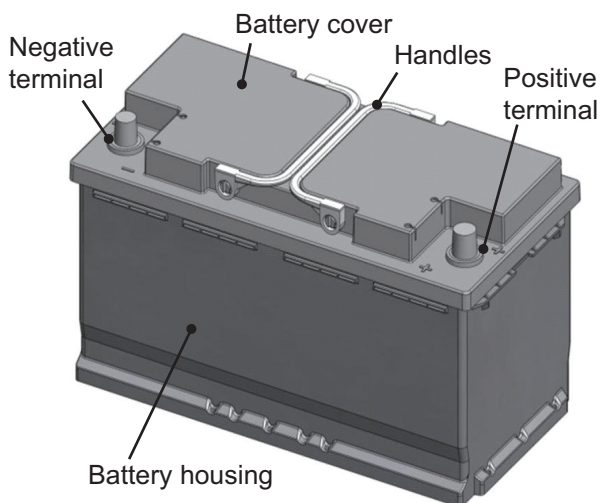


Fig. 2 Outer appearance of 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

DIN規格の鉛蓄電池LN5サイズに準拠しており、既存車種に搭載している鉛蓄電池をリチウムイオン電池に置き換える際に、車両側の電池搭載構造を大きく変更する必要がないように考慮している。

図に示す構成部品以外に、万一内部のセルがバントした場合に、発生ガスを車室外に排出するための排出口を設けている。また、車両側のパワーマネジメント ECU (Electronic control unit) との信号インターフェースとして、LIN (Local interconnect network) コネクタを設けている。

2.3 内部構造

“019SLIB”の内部構造を Fig. 3 に示す。“LEV60F”を4直列に接続したモジュールを中心に、電池の正極端子側にリレー、負極端子側に BMU とシャント抵抗を配置することで、電池内のかぎられた空間を効率よく活用している。

3 電池性能

アイドリングストップ車用 12 V リチウムイオン電池に求められる性能を下記に示す。

- (1) 自動車に搭載される電装機器が正常動作するための電圧範囲。
- (2) 頻りにアイドリングストップするような市街地での走行パターンにおいても、高度に電装化された車載機器に安定した電圧を継続供給するために十分な放電容量および短時間に充電できる充電受入性能。
- (3) 高負荷のスターターを駆動することのできる出力

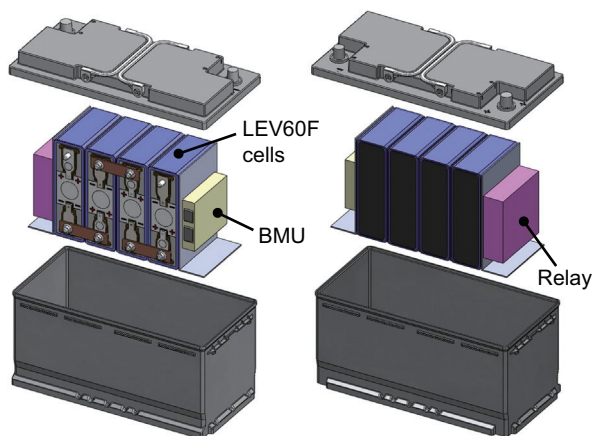


Fig. 3 Inner structure of 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

性能。特に低温環境下でエンジンを始動させるコールドクランキング性能。

- (4) アイドリングストップ車特有の浅い放電深度の充放電を繰り返した際の寿命特性。

以下に、これら電池性能、特性に関して説明する。

3.1 動作電圧範囲

“019SLIB”に内蔵する“LEV60F”はリン酸鉄系リチウムイオン電池であり、4直列で構成すると、Fig. 4に示すように、アイドリングストップ車に搭載されている現行の鉛蓄電池の通常動作電圧範囲に合致する。通常動作電圧範囲は、自動車メーカー、車種によって異なるが、搭載されている電装機器がおおよそ 10~14 V の範囲で正常に動作するように、自動車システムは設計されている。また、通常、アイドリングストップ車では、アイドリングストップ時に、確実にエンジンを再始動できるように、電池の充電状態 (State of charge: SOC) が、所定の範囲内になるように充電制御されている。この制御は、電池内の BMU からの情報 (電池温度, SOC 演算値, 電池劣化状態など) をもとに、自動車側のパワーマネジメント ECU がオルタネータおよびエンジン停止のタイミングなどを制御することにより実現している。

3.2 充放電特性および放電容量

“019SLIB”の 25 °C における、1 CA での充放電特性および各放電レートでの放電特性をそれぞれ Fig. 5 および Fig. 6 に示す。鉛蓄電池とは異なり、高率放電 (3 CA) 時においても、ほぼ 1 CA 放電時と同じ放電容量を確保していることがわかる。これは、高度に電装化された高電力負荷の自動車において、頻りにエンジン停止状態が発生した場合でも、安定した電力をより長い時間供給できることを示している。

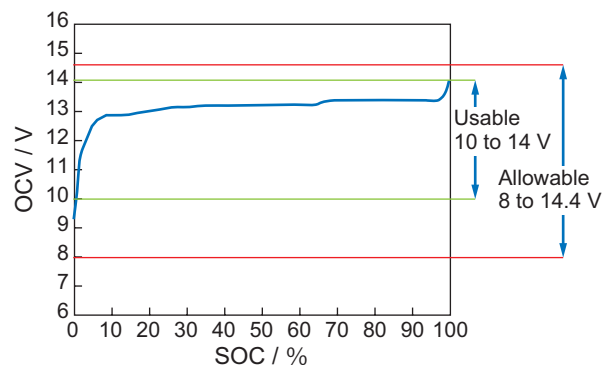


Fig. 4 Operating voltage range of 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

3.3 コールドクランキング

欧州のアイドリングストップ車用の電池は低温環境下でのエンジンの始動性が重要視される。エンジンの低温始動を模擬した高率放電試験結果を Fig. 7 に示す。また、電池温度 -18°C において、SOC100% から、電流値 750, 850, および 930 A でそれぞれ 30 秒間放電したときの電圧挙動から、EN および SAE 規格で規定されているコールドクランキング電流 (CCA) を推測した。CCA(EN) および CCA(SAE) は、それぞれ -18°C において、10 秒間放電したときに 7.5 V を、30 秒間放電したときに 7.2 V を保持できる電流値として規定されている。Fig. 8 に示すように、EN および SAE 規格で規定される CCA はそれぞれ 780 および 870 A となる。

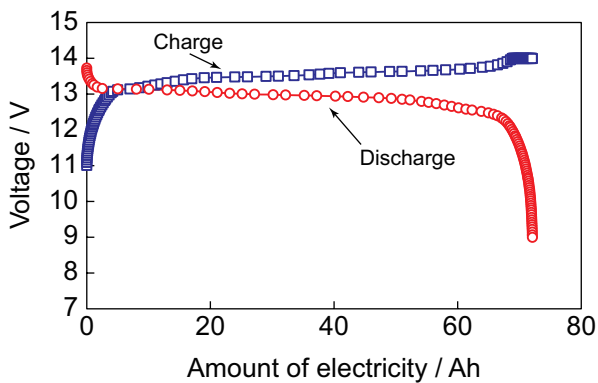


Fig. 5 Charge and discharge characteristics for 019 SLIB type 12 V lithium-ion battery. Battery was charged at 60 A to 14.0 V and then, discharged at 60 A to 9.0 V at 25°C . Charge (□) and Discharge (○).

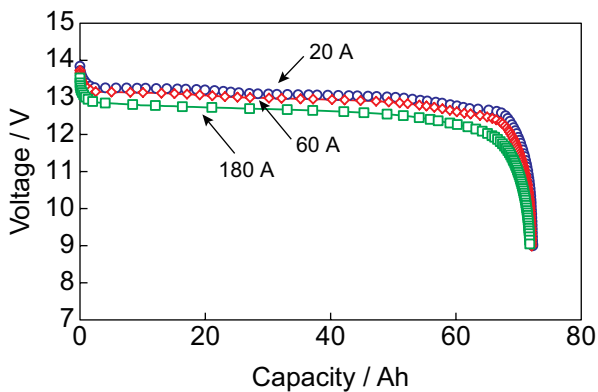


Fig. 6 Discharge characteristics for 019SLIB type 12 V lithium-ion battery. Battery discharged at various currents of 20 A(○), 60 A(◇), and 180 A(□) at 25°C .

なお、低温環境下におけるエンジンの始動性能は、電池の温度だけではなく、SOC および劣化状態 (直流抵抗, 電池容量) などが大きく影響する。このため、BMU からの情報をもとに、自動車側のパワーマネジメント ECU は、エンジンを再始動することができる最低限の SOC を下回らないように、オルタネータを最適制御する。

3.4 充放電サイクル寿命 (DOD50%)

アイドリングストップ車における電池の使用パターンは、電気自動車などのように広い SOC 範囲で充放電される場合と異なり、狭い SOC 範囲において充放電される PSOC (Partial state of charge) で使用される。電池の温度や状態によっても変化するが、一般的なアイドリングストップ車は、たとえば 60~80% または、70~90% のような SOC 範囲で制御されていることが多い。現実的な電池のサイクル寿命を推測するために、DOD100% の充放電サイクルではなく、PSOC 充

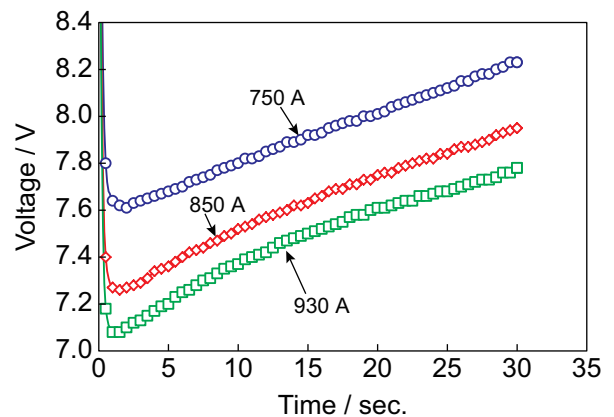


Fig. 7 Discharge characteristics for 019SLIB type 12 V lithium-ion battery. Battery discharged at various currents of 750 A(○), 850 A(◇), and 930 A(□) at -18°C .

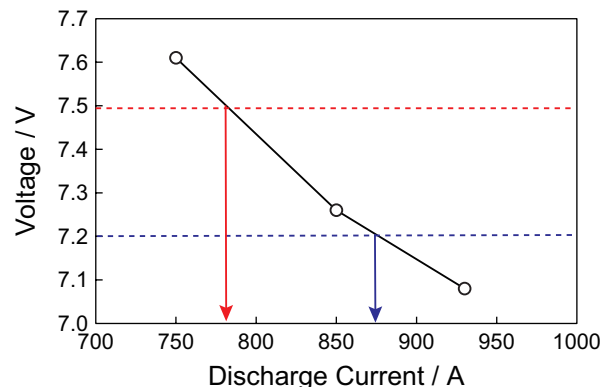


Fig. 8 Estimation of CCA (EN) and CCA (SAE).

放電サイクルを実施した。なお、一般的には PSOC の範囲は上記のように比較的狭いと考えられるが、試験としては一般的な使用よりも厳しい条件である約 50% の DOD (Depth of discharge) の PSOC 充放電サイクル試験を実施して、寿命特性を確認した。また、試験を加速させるため、45 °C でおこなった。

この試験におけるエネルギースループット（放電容量の積算値）に対する、電池容量の推移を Fig. 9 に示す。90,000 Ah のエネルギースループットを経たあとでも、電池容量維持率は約 70% であり、非常に優れたサイクル寿命性能を示す。

4 電池管理装置 (BMU)

主にヨーロッパで普及しているアイドリングストップ車用の鉛蓄電池の BMU は、電池の負極端子に取り付けるタイプの IBS (Intelligent battery sensor) が普及している。IBS は、LIN 通信により、電池端子電圧、電流（シャント抵抗が IBS に内蔵）および SOC などの情報を自動車側のパワーマネジメント ECU に送信して、オルタネータを制御している。したがって、鉛蓄電池自体には、過充電、過電流などから電池を保護するためのリレーやヒューズなどの電装部品は内蔵されていない。

一方、“019SLIB”には、リチウムイオン電池特有の機能および安全装置が求められるため、各単電池電圧と電池内部温度を高精度で計測する必要があり、上記のような電装部品は外付けではなく、電池に内蔵している。“019SLIB”の BMU 回路のブロック図を Fig. 10 に示す。

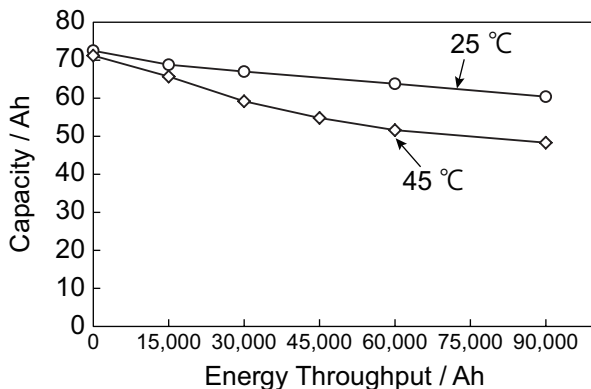


Fig. 9 Energy throughput performance during repetition of PSOC cycle life test for 019SLIB type 12 V lithium-ion battery at 25 °C (○) and 45 °C (◇).

4.1 電池管理装置機能

(1) LIN 通信機能

自動車側のパワーマネジメント ECU との通信手段として LIN 通信機能をもつ。

(2) セルバランサー機能

電池性能を最大限にひき出すために、各単電池の容量を均等化するセルバランサー機能をもつ。

(3) 自己診断機能（ダイアグノーシス）

電池の高いメンテナンス性をサポートするため、BMU の故障を検知する高度な自己診断機能をもつ。また、自動車に搭載されている電装品の異常を自動車のパワーマネジメント ECU に知らせるために、電池の暗電流の異常を検知する機能も合わせてもつ。

(4) 安全機能

(ア) 過充電、過放電、過電流、電池過熱の検出回路を装備する。

(イ) 重大な電池事故をひき起こす可能性のある過充電を防止するための冗長検出回路を装備する。

(ウ) 電池異常検知時には、LIN 通信により自動車側のパワーマネジメント ECU に異常を知らせると同時に、自ら内蔵リレーを遮断して電池を保護する。

(エ) 自動車非搭載時（電池単体）においても、過充電、過放電、過電流などの検知機能およびリレー遮断機能は常時動作する。

(5) SOC 演算機能

自動車の低燃料消費と、確実なエンジン再始動とを同時に実現するために、自動車側のパワーマネジメント ECU に、適切なアイドリングストップのタイミングを判断させるための情報として、精度の高い SOC 情報を送信する。

電池に流れる電流のダイナミックレンジは数 mA ~ 1500 A 程度と広いと、電流計測回路は自動で計測レンジの切り替えをおこない、高精度の電流計測をおこなう。

(6) オルタネータ制御

電池電圧、電流、SOC、温度、インピーダンス、および容量劣化などの度合いに応じて、最適な充電、回生を受けるために、自動車側のパワーマネジメント ECU に対して、これらの情報を送信し、オルタネータが適切な充電をおこなうように制御する。

4.2 鉛蓄電池とリチウムイオン電池の管理システムの違い

主にヨーロッパで普及しているアイドリングストップ車用鉛蓄電池の電池管理システムと、“019SLIB”の電池管理システムとの大きな違いは、電池を保護する

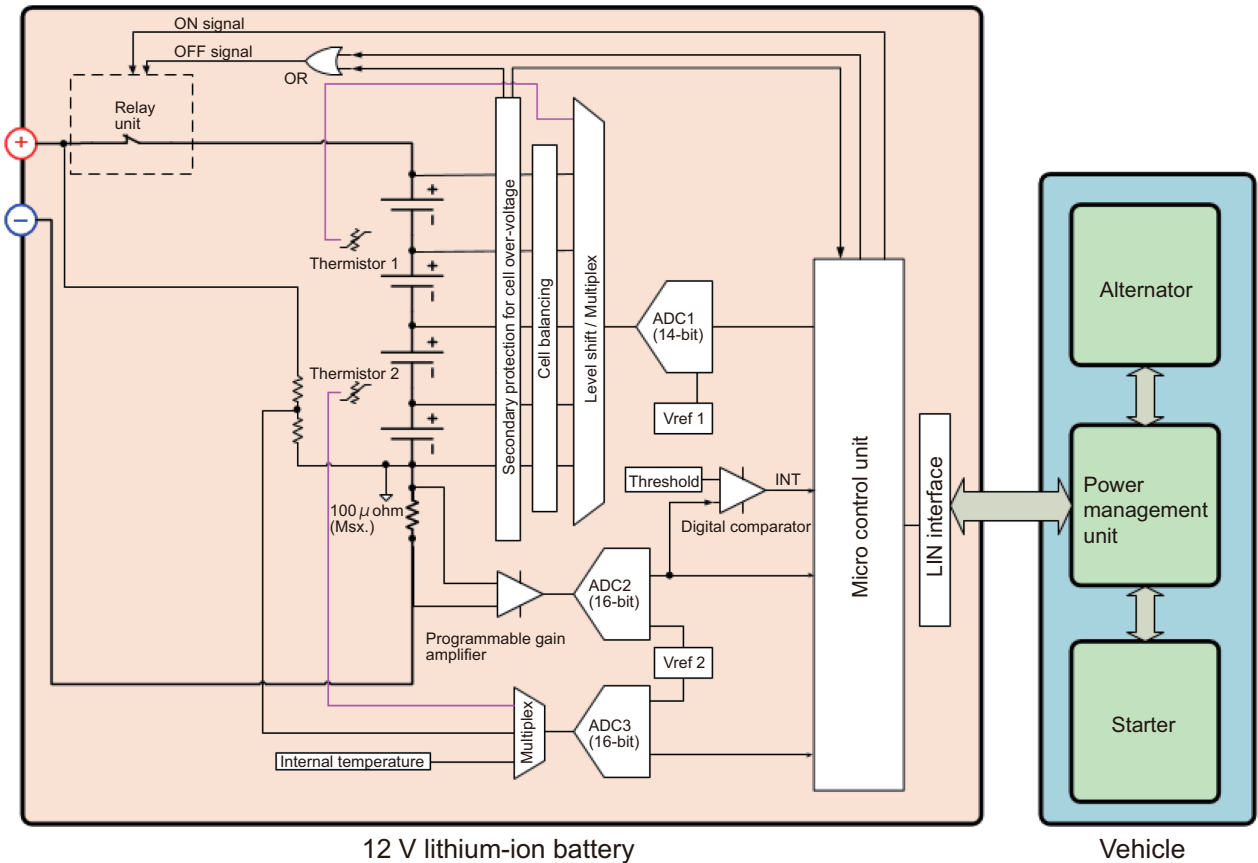


Fig. 10 Circuit block diagram of 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

ための安全機能が、電池の内部にあるかどうかである。両者の比較を Table 2 に示す。

5 安全性

“019SLIB” は、電池特性試験、環境試験、寿命試験、EMC 試験、信頼性試験、車両マッチング試験および、クラッシュ、過充電、過放電、逆電圧、落下、釘刺しなどを含む安全性試験を実施して、自動車品質を満足することを確認している。安全性試験のうち、クラッシュ、過充電および外部短絡試験の結果を Table 3 に示す。なお、すべての試験において、発火や発煙はなかった。

なお、“FreedomCAR Electrical Energy Storage System Abuse Test Manual for Electric and Hybrid Electric Vehicle Applications” の 2.2.5 節では、Level 1 および Level 2 のハザードは下記のように定義されている³。

Level 1: 異常なし、電解液漏れなし、開弁なし、火もしくは炎なし、亀裂無し、爆発無し、発熱反

応もしくは熱暴走なし、セルの可逆的ダメージ、保護デバイスの修理が必要。

Level 2: 電解液漏れなし、開弁なし、火もしくは炎なし、亀裂無し、爆発無し、発熱反応もしくは熱暴走なし、回復できないダメージ、修理が必要。

6 結言

近年、日本では、EV、HEV、PHEV などの電気自動車以外の環境車分野においても、アイドリングストップシステムを含む低燃費消費のためのパワーマネジメント技術が、軽自動車まで急速に進んでいる。これにともない、電池性能、耐久性についてこれまで以上に要求が厳しくなっている。当社では、これらの要求を満足する高性能な鉛蓄電池を開発して、市場のニーズにマッチした製品を供給している。

しかし一方で、欧州のハイクラスの自動車では、低燃料消費を基本コンセプトとして、さらなる自動車の高度電装化のために大電力電源を必要としている。そ

Table 2 Comparison of management system for lead-acid battery and 019SLIB.

Function	Lead-acid battery(Europe)	019SLIB
Measurement function	Battery terminal voltage External temperature of battery Charge and discharge current Quiescent current	Cell voltage × 4ch Battery terminal voltage Cell temperature × 2ch Charge and discharge current Quiescent current
Safety function	No safety function	Internal cutoff switch (disconnected due to over charge, over discharge, over current, over heat) Redundant design of cell over voltage detecting circuit
SOC (State of charge) calculation	Current integrating function Full charge detection due to equalized charge	Current integrating Refer to look-up table in voltage-current measurement plot at charge and discharge Refer to look-up table in cell open voltage Regular reset of full charge
SOH (State of health) calculation	Lifetime judgment due to voltage descent at cranking	Calendar degradation calculation DC resistance calculation at cranking
Self-diagnosis	No self-diagnosis function	Defect of voltage measurement circuit Internal switch failure Sensor defect Arithmetic circuit defect Memory defect Cell defect Quiescent current defect
Installation location	Negative terminal(external)	Inside of battery

Table 3 Safety test results for 019SLIB type 12 V lithium-ion battery.

Test	Conditions	Result	Level
Crush	100% SOC, Φ 150 mm	No flame	2
	Displacement of 15% (Freedom CAR 1st stage)	No venting	
Overcharge	CC-CV charge at 120 A to 22 V from 100% SOC (UN recommendation)	No flame No venting (Relay contactor open)	1
External short circuit	Total external resistance:	No flame	2
	less than 0.1 ohm at 55 °C (UN recommendation)	No venting	

の要求を満足するためには、搭載する電池の質量エネルギー密度を高めて、電池質量をできるかぎり軽量化する必要がある。また、自動車の最適なパワーマネジメントを実現して、燃料消費をさらに低減させるために、電池に関する情報を電池自身が管理して、それを自動車側のパワーマネジメント ECU に供給することも求められている。

当面、これらの需要は特定の自動車市場に限定されたものかもしれないが、将来的には、大衆車にも適用できる可能性がある。今回、この新たな市場要求に対応すべく、外観は鉛蓄電池と互換ではあるが、すべての構成品を新たに設計し、高性能、長寿命、高エネルギー密度、そして高安全なリチウムイオン電池を開発

した。

今後、低コスト化を進めると同時に、電池サイズのラインナップを増やしていく予定である。また、近年、電装品に求められる機能安全 (ISO 26262) に完全適合した、さらに安全な電池システムを開発していく所存である。

文献

1. Kohji Hara, Ken Sawai, Shinji Ishimoto, Takeshi Kondo, Motoyuki Suzuki, Satoshi Inagaki, and Shigeharu Osumi, *GS Yuasa Technical Report*, **6**(1), 7 (2009).

2. Hidetoshi Wada, Masaaki Hosokawa, and Takao Ohmae, *GS Yuasa Technical Report*, **9**(2), 16 (2012).

3. Daniel H. Doughty, and Chris C. Crafts, FreedomCAR Electrical Energy Storage System Abuse Test Manual for Electric and Hybrid Electric Vehicle Applications, SANDIA REPORT SAND2005-3123, p.15-16(2005).