

大容量リチウムイオンキャパシタ LCAP[®] の 性能とモジュールの開発

Performance of Large-capacity LCAP[®] and Development of Modules

濱 良樹* *Yoshiki Hama* 櫻井 淳* *Atsushi Sakurai*
高橋昭夫* *Akio Takahashi* 関谷雅彰* *Masaaki Sekiya*

無人搬送車 (AGV) や瞬低補償装置、電力系統安定化装置等に当社のリチウムイオンキャパシタ LCAP[®] (型名: SLC-B110) を適用する検討が進んだ結果、大容量化が求められるようになった。設計の変更を最小限に留めながら大容量化の要求に答えるため、セルを長尺化し、大容量化した新規 LCAP[®] (型名: SLC-B152) を開発した。SLC-B152 は、SLC-B110 と比べて放電容量で約 1.6 倍の 800mAh を達成した。信頼性と安全性を評価し、SLC-B110 と同等の信頼性と安全性があることを確認した。この SLC-B152 の特長を活かし、AGV 等の 24 V 系や 48 V 系の主電源用途に適した 8 セルおよび 16 セルモジュール、瞬低補償装置や電力系統安定化装置等の大型キュービクルへの搭載に適した 32 セルモジュールを開発した。

Application studies of our Lithium-Ion Capacitor (LCAP[®]) for AGVs, voltage dip compensators, power system stabilizers, etc. have been successfully performed. As a result, the requirement for larger capacity is increasing. To meet this requirement while minimizing the design changes, we have developed a longer type of LCAP[®], SLC-B152. The capacity of this model is 800 mAh, which is 1.6 times larger than that of the current LCAP[®], SLC-B110. The same level of safety and reliability as for the SLC-B110 were confirmed by various safety and reliability tests. With this new LCAP[®], 8 and 16 cell modules suitable for industrial vehicles such as AGVs were developed. 32 cell module for large power supply equipment such as voltage dip compensators, power system stabilizers, etc. have also been developed.

〔1〕 緒 言

高出力、長寿命、高耐熱の特長を持つ円筒形リチウムイオンキャパシタ (LIC) を LCAP の商標で 2009 年 10 月に量産化した (型名: SLC-B110)。LIC は電気二重層キャパシタ (EDLC) と比べてエネルギー密度が高く、リチウムイオン電池 (LIB) と比べて出力密度の高い蓄電デバイスである¹⁾。

このようなデバイスが必要とされる用途に、自動車や建設機械等の移動体の電力回生がある。この用途では、エンジンルーム内の過酷な環境に耐えうる耐熱性、耐震性、長寿命が必要であり、デバイスとして EDLC や LIC が検討されている^{2) ~ 5)}。LIC はエネルギー密度、耐熱性、長寿命を求められる用途において EDLC よりも原理的に有利である。LCAP[®] はこのような用途にターゲットを置き、LIC の原理的

な優位点を最大限に引き出せる製品設計を行ってきた。一方、放電容量よりも電力回生能力が重視される自動車や建設機械に対して、電池容量が必要な工場設備の無人搬送車 (AGV)、電力系統に瞬時の電圧低下 (瞬低) が生じたときに放電して系統の電力を維持する瞬低補償装置、太陽光発電や風力発電等で生じる電力の短周期変動を抑制する電力系統安定化装置等の用途開拓も進んできた。これらの用途では以下に挙げる理由で LIC の検討が本格化してきた。

例えば AGV は、鉛蓄電池で半日または 1 日稼働させた後に、充電しておいた予備の鉛蓄電池と交換して走行させるという使い方が中心であった。そのため、鉛蓄電池の交換作業と充電場の確保が必要であった。この鉛蓄電池を急速充電が可能な EDLC や LIC に置き換えて、自動充電システムを組むことにより、交換にかかる人手と鉛蓄電池の充

*日立エーアイシー(株)

電場のスペースを減らすことができる。しかし EDLC は、①エネルギー密度が低いので鉛蓄電池を搭載していたスペースに収納できない、②自己放電が大きいため休暇明けに EDLC の電圧が AGV の動作電圧以下になっていることがあり、充電してからでなければ作業を開始できない等の問題点があった。これに対して LCAP[®] は、鉛蓄電池のあったスペースに搭載可能であり、また自己放電が小さく停止中にほとんど電圧が低下しないので、休暇明けすぐに作業可能である。このように AGV には EDLC よりも LCAP[®] の方が適している。

鉛蓄電池を搭載した AGV の自動充電システムもあるが、急速充電するためには必要以上の大型鉛蓄電池を搭載する必要があった。また、鉛蓄電池は LCAP[®] に比べ性能劣化が早く、電池容量が低下するため 1 年半から 2 年で買い換える必要があった。一方、LCAP[®] は機器の寿命まで使用することができるので有利である。

また、瞬低補償装置はアルミ電解コンデンサを用いたもの、鉛蓄電池や LIB を用いたもの等様々あり、それぞれ補償電力や補償時間が異なっている。アルミ電解コンデンサを用いたものは補償時間が 0.1 秒以下、鉛蓄電池や LIB を搭載したものは 1 分以上の補償時間のものが一般的である。瞬低の主な原因は送電線への落雷で 0.07 ~ 2 秒程度の電圧低下を引き起こす⁶⁾。アルミ電解コンデンサでは補償時間が足りない時があり、蓄電池ではこのような短時間大電力に対応しきれないために従来は EDLC が検討されてきた^{7) 8)}。しかし EDLC では特性の経年劣化が大きく、エネルギー密度も小さいためにキュービクルが大きくなってしまいう問題点があった。LCAP[®] は EDLC に比べて特性の経年劣化が小さくエネルギー密度が大きいので、キュービクルを小型化することができる。

さらに太陽光発電や風力発電等の自然力を利用した発電は、気象状況の変動によって発電電力が変動する。これをそのまま電力系統に送ると電力の品質に問題が生じ、場合によっては停電を引き起こす。そこで蓄電池を使って変動を安定化して電力系統に送る必要がある⁹⁾。また、電力の需給バランスの崩れによる電圧や周波数の不安定化に対しては火力発電のタービンの回転を調節して対応しているが、今後自然エネルギーによる発電が増えて火力発電の割合が減ると、電力系統安定化装置により系統の電力を安定化させる必要が生じてくる¹⁰⁾。LCAP[®] はこうした電力安定化用途において、特に短周期の変動抑制の役割を担える。

これらの用途には、従来の性能に加えてより大容量の LCAP[®] が必要となる。並列数を増やす方法もあるが、1 本当たりの放電容量を大容量にした方がシステムを小さく、低コストにすることができる。このような要求に対して現行の生産設備や部材を活かしながら LCAP[®] を大容量化する手段として、長尺化を図ることとした。

本報告では、長尺化して大容量化した新規 LCAP[®] (型名: SLC-B152) の性能とこのセルを使ったモジュールの概要について述べる。

[2] 評価方法

2.1 使用材料および製造方法

LCAP[®] の正極活物質は、EDLC の活材と類似の活性炭である。この活性炭をバインダ樹脂と混合、スラリー化して集電体に塗布、乾燥して正極とする。負極活物質は、LIB の負極と類似の炭素材料である。この炭素材料を正極と同様にバインダ樹脂と混合、スラリー化して集電体に塗布、乾燥して負極とする。このようにして製作した正極、負極をセパレータ、リチウム金属とともに巻き取って金属缶に挿入し、負極を缶に電氣的に接続する。そして電解液を注入、封口して LCAP[®] のセルを完成させた。電解液には、引火点が高く、安全性の高い溶媒 (第三石油類) を選定した。その後、リチウム金属を溶解、イオン化させて負極に充電する工程を行って特性を発現させた。

2.2 初期特性の評価方法

2.2.1 静電容量の測定方法

25°C にした恒温槽内でセルを 3 時間以上放置し、充放電器を用いて 10 A で 3.8 V に充電する。3.8 V に 30 分間保持して充電を止め 1 分間休止させる。続いて 10 A の電流で 2.2 V まで放電し、放電時間から (1) 式により放電容量 (Q) を計算した。

$$Q = \frac{I \times t}{3600} \quad \dots (1)$$

ここに Q: 放電容量 (Ah)

I: 放電電流 (A)

t: 放電時間 (sec)

静電容量 (C) は放電容量 (Q) と放電開始電圧 (V_i)、放電終了電圧 (V_f) から (2) 式により計算した。

$$C = \frac{Q \times 3600}{V_i - V_f} \quad \dots (2)$$

ここに C: 静電容量 (F)

Q: 放電容量 (Ah)

V_i: 放電開始電圧 (V)

V_f: 放電終了電圧 (V)

2.2.2 直流抵抗 (DCR) の測定方法

25°C にした恒温槽内でセルを 3 時間以上放置し、充放電器を用いて 10 A で 3.8 V に充電する。3.8 V に 30 分間保持して充電を止め 1 分間休止させる。続いて SLC-B110 は 80 A、SLC-B152 は 100 A で 2.2 V まで放電し、放電開始後 1.0 ~ 2.0 秒後の電圧を 0.1 秒毎に測定する。測定した時間と電圧から最小二乗法で、得られた直線を 0 秒まで外挿する。時間 0 での電圧 (V₀) と放電電流 (I) から (3) 式により DCR (R) を計算した。

$$R = \frac{V_0}{I} \quad \dots (3)$$

ここに R: DCR (Ω)

V₀: 計算で得られた時間 0 の電圧 (V)

I: 放電電流 (A)

2.2.3 漏れ電流の測定方法

25°Cにした恒温槽内でセルを3時間以上放置し、充放電器を用いて0.5 Aの電流で3.8 Vに充電する。3.8 Vに30分間保持し、28～30分の間の電流値を1秒毎に測定する。測定した電流値を平均し、漏れ電流とした。

2.3 信頼性試験の試験方法

2.3.1 フロート試験方法

80°Cにした恒温槽内でセルを3時間以上放置し、充放電器を用いて10 Aで3.8 Vに充電する。3.8 Vに到達した時間を0として試験を行い、所定時間に達したら2.2.1～2.2.3項に従って初期特性を測定した。

2.3.2 サイクル試験方法

80°Cにした恒温槽内でセルを3時間以上放置し、SLC-B110は15 A、SLC-B152は17 Aで3.8 Vまで充電、3.8 Vで30秒間保持する。その後、充電と同じ電流値で2.2 Vまで放電し、2.2 Vで30秒間保持する。この充放電を繰り返す。所定回数に達したら2.2.1～2.2.3項に従って初期特性を測定した。

2.4 安全性試験方法

2.4.1 外部短絡試験

電圧を3.8 Vにしたセルを3m Ω以下の短絡抵抗で外部短絡する。セル電圧、放電電流、セル温度を計測し、破裂、発火の有無を観察した。

2.4.2 圧壊試験

電圧を3.8 Vにしたセルに直径150mmの円柱状圧子を15mm/秒の速度で降下させ、セルの変形量が元のセルの半分になるまで圧壊する。セル電圧、セル温度を計測し、破裂、発火の有無を観察した。

2.4.3 釘刺し試験

電圧を3.8 Vにしたセルにφ5の釘を15mm/秒の速度で降下させ、セルの半分まで釘を刺す。セル電圧、セル温度を計測し、破裂、発火の有無を観察した。

2.4.4 過充電

電圧を2.2 Vにしたセルを安定化電源で定格容量の250%まで充電する(10 A)。試験後、7日間放置して、セル電圧、充電電流、セル温度を計測し、破裂、発火、安全弁作動の有無を観察した。

2.4.5 過放電

電圧を3.8 Vにしたセルに電池容量の大きなLIBを2直列にして、極性が逆向きになるように接続し、安定化電源で定格容量の500%まで放電する(10 A)。試験後、7日間放置して、セル電圧、放電電流、セル温度を計測し、破裂、発火、安全弁作動の有無を観察した。

2.4.6 振動試験

電圧を3.8 Vにしたセルに45 m/s²の加速度で振動を与える(正弦波 周波数33Hz)。X方向2時間、Y方向2時間、Z方向4時間、振動を与え、セル電圧を測定し、漏液、破裂、発火、安全弁作動の有無を観察した。

2.4.7 落下試験

電圧を3.8 Vにしたセルを1mの高さからコンクリートの床に、横、縦(負極側)、縦(正極側)の順に1回ずつ計3回落下させ、破裂、発火、安全弁作動の有無を観察した。

〔3〕 結果と考察

3.1 長尺化

現在量産中のSLC-B110は、電池缶の直径がφ40mm、製品高さが110mmである。このセルを大容量化するには、電池缶の直径を太くする方法と製品高さを高くする方法があるが、製品高さを高くした方が現行の部材を流用できる等のメリットが多い。一方、電池缶の絞り深さに限界があるため、高さを152mmと定めた。

3.2 寸法と初期特性

図1にSLC-B152およびSLC-B110の外観、表1にSLC-B152とSLC-B110の寸法と初期特性の比較を示す。放電容量は、SLC-B110が490mAhであるのに対して、SLC-B152が800mAhと約1.6倍の大容量化を達成した。静電容量および電力量はSLC-B110がそれぞれ1100F、1.47Whに対し、SLC-B152が1800F、2.4Whである。DCRは、SLC-B110の2.3m Ωに対して、電極の対向面積が拡大した影響でSLC-B152では1.9m Ωになった。長尺化により電極の収納効率が上がったことで、体積エネルギー密度、重量エネ



図1 SLC-B152とSLC-B110の外観
Fig.1 Appearance of SLC-B152 and SLC-B110

表1 SLC-B152とSLC-B110の特性比較
Table 1 Comparison of performance of SLC-B152 and SLC-B110

項目	SLC-B152	SLC-B110
動作電圧範囲	2.2～3.8 V	
使用温度範囲	-15～80 °C	
電気量	800 mAh	490 mAh
静電容量	1800 F	1100 F
電力量	2.4 Wh	1.47 Wh
直流抵抗(DCR)	1.9 mΩ	2.3 mΩ
漏れ電流	5 mA	3 mA
サイズ	φ40×152L	φ40×110L
体積	191 cm ³	138 cm ³
質量	350 g	270 g
体積エネルギー密度	12.6 Wh/L	10.7 Wh/L
重量エネルギー密度	6.86 Wh/kg	5.44 Wh/kg

ルギー密度は約 2 割向上した。図2に放電特性の比較を示す。低電力から高電力までの全ての範囲で SLC-B152 は SLC-B110 と比べて約 1.6 倍の放電電力量があり、放電容量比と同一であった。

3.3 信頼性試験結果

3.3.1 フロート充電試験結果

LCAP[®] の使用上限温度は 80℃なので、80℃の耐フロート充電性を評価した。フロート充電試験は、温度と電圧による特性劣化を評価するもので、セルの寿命性能が分かる。図3に SLC-B152 および SLC-B110 の 80℃フロート充電試験結果を示す。SLC-B152 の 1000 時間後の放電容量の減少は約 10%、DCR の増加は約 40%であり、これは SLC-B110 の DCR 変化の挙動とほぼ同じであった。なお LCAP[®] の寿命は、DCR が 100%増加した時点を寿命と定めている。放電容量変化率も SLC-B152 は、SLC-B110 とほぼ同じ挙動を示した。この結果より、SLC-B152 は、SLC-B110 と同等の期待寿命を示すことが分かった。なお、別途行った温度を変えた試験結果から、80℃ 1000 時間のフロート充電は、25℃では約 70 万時間のフロート充電にあたる。

3.3.2 サイクル試験結果

サイクル試験は充放電の繰り返しによるセルの劣化を評価するものである。充放電によるセル内部のイオンの移動が正極と負極の劣化に与える影響の程度が分かる。図4に SLC-B152 および SLC-B110 の 80℃サイクル試験結果を示す。

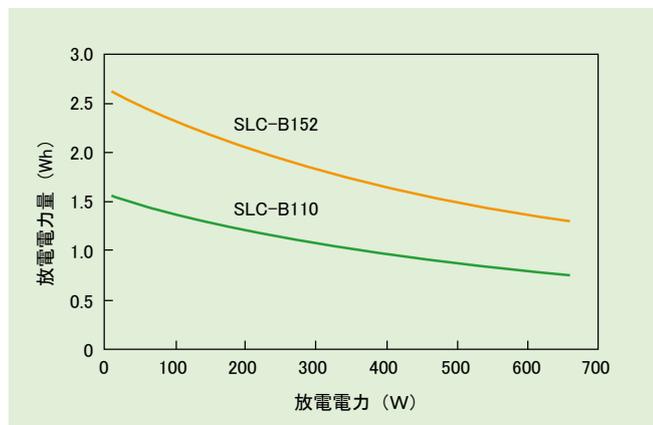


図2 放電特性
Fig.2 Discharge performance

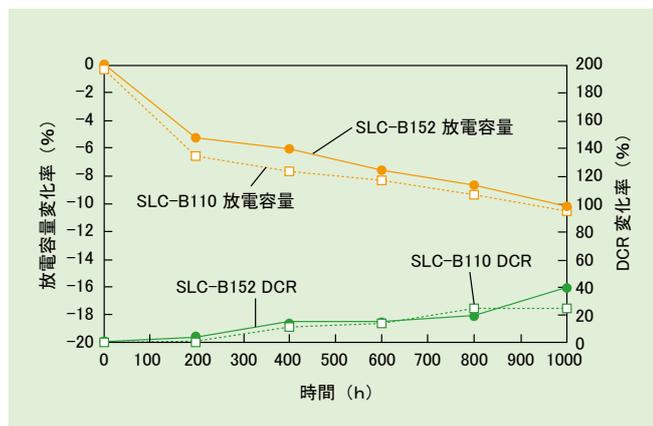


図3 80℃フロート試験結果
Fig.3 Float charge test at 80℃

す。SLC-B152 の 2 万サイクル後の放電容量の減少は約 12%、DCR の増加は約 30%であり、いずれも SLC-B110 とほぼ同じであった。この結果から、SLC-B152 の充放電による劣化は SLC-B110 と変わらないことが分かった。なお、別途行った温度を変えた試験結果から、80℃ 2 万サイクルは 25℃では約 400 万サイクルにあたる。

フロート試験およびサイクル試験結果から SLC-B152 は、SLC-B110 と同等の長寿命を持っていると結論付けることができる。

3.4 安全性試験結果

SLC-B152 は、SLC-B110 に比べて 1 本当りのエネルギーが大きくなるので、安全性の低下が懸念された。そこで以下のような安全性試験を実施し、十分な安全性が確保されているかを確認した。なお、これらの試験は SLC-B110 でも行っており、破裂、発火が起きないことを確認している。

3.4.1 外部短絡試験

外部短絡（ショート）が生じると大電流が流れる。セルには内部抵抗があるので、大電流が流れると発熱する。この発熱と電極の副反応で発生する可燃性成分（H₂、C_nH_m 等）を含んだガスによりセルの内圧が急速に上昇すると、セルが破裂する危険性が出てくる。この試験は、外部短絡による発熱の程度、安全弁の作動状態、破裂や発火の有無を確かめるものである。

図5に外部短絡試験結果を示す。放電電流は最大 1205 A、

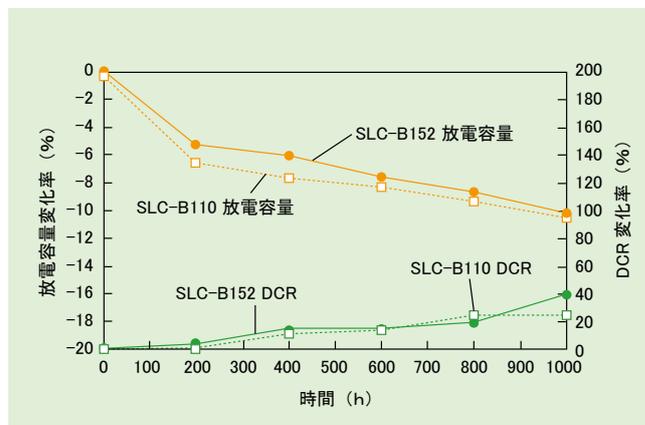


図4 80℃サイクル試験結果
Fig.4 Charge/discharge cycle test at 80℃

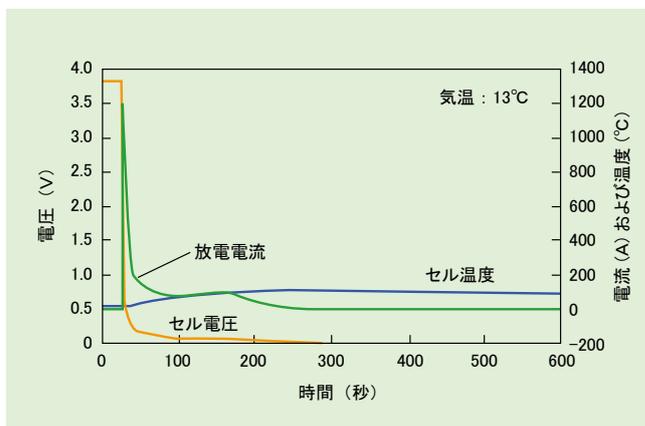


図5 外部短絡試験結果
Fig.5 Short test

セル温度は最高 105℃まで上がったが、セルの破裂、発火は無く、安全弁の作動には至らなかった。

3.4.2 圧壊試験

圧壊は、運搬中にフォークリフト等に押し潰されるようなことが起こったときのことを想定している。セルが押し潰されると内部短絡が生じる。この内部短絡による発熱と電極の副反応で発生する可燃性成分を含んだガスにより内圧が上昇し、セルの破裂や発火の危険性が出てくる。この試験は圧壊による発熱の程度、安全弁の作動状態、破裂や発火の有無を確かめるものである。

図6に圧壊試験結果を示す。セル温度は最高 178℃まで上がった。押し潰したために安全弁が作動して電解液の蒸気が噴出したが、破裂、発火は無かった。

3.4.3 釘刺し試験

釘刺しは、梱包中に誤ってセルに釘を打ち付けたときのことを想定している。釘が缶を突き破ると、釘を通して内部短絡が生じる。この試験は、釘刺しによる発熱の程度、安全弁の作動状態、破裂や発火の有無を確かめるものである。

図7に釘刺し試験結果を示す。セル温度は最高 100℃まで上がった。安全弁は作動せず、釘を刺した場所から電解液の蒸気が噴出したが、破裂、発火は無かった。

3.4.4 過充電

LIBを過充電すると電解液の分解、正極活物質の分解・酸素発生を経て熱暴走が起こり、破裂、発火に至る危険性

が高くなる¹¹⁾。LICは、正極活物質が活性炭なので酸素発生が無いため、外部着火源が無い限り原理的には破裂、発火に至ることは無い。この試験では、LIBの過充電時に時折見られる破裂や発火がLCAP[®]では無いことを確認する。

図8に過充電試験結果を示す。約 4.3 Vまではセルの温度がゆっくりと下降した。これはLCAP[®]の充電が吸熱過程のためである。その後、約 4.3 Vからは温度が上昇に転じたが、最高 13℃であった(室温は 10℃)。最大電圧は 5.1 Vであった。安全弁の作動、破裂、発火は無かった。なお、試験後に 7 日間過充電状態のまま放置したが、安全弁の作動、破裂、発火は無かった。

3.4.5 過放電

極性を逆にしたLIBにLCAP[®]を繋いで、セル容量の 500%の強制放電をして過放電試験を実施した。この試験は過放電によるセルの発熱の程度、安全弁の作動状態、破裂や発火の有無を確かめるものである。

図9に過放電試験結果を示す。電圧は反転し、最低 -0.2 Vになった。温度は最高 49℃(室温は 12℃)で安全弁は作動せず、破裂、発火は無かった。なお、試験後に 7 日間過放電状態のまま放置したが、安全弁の作動、破裂、発火は無かった。

3.4.6 振動試験

SLC-B110は、自動車や建設機械等の移動体の電力回生に使用する目的で設計しているため、高い耐振動性能を有

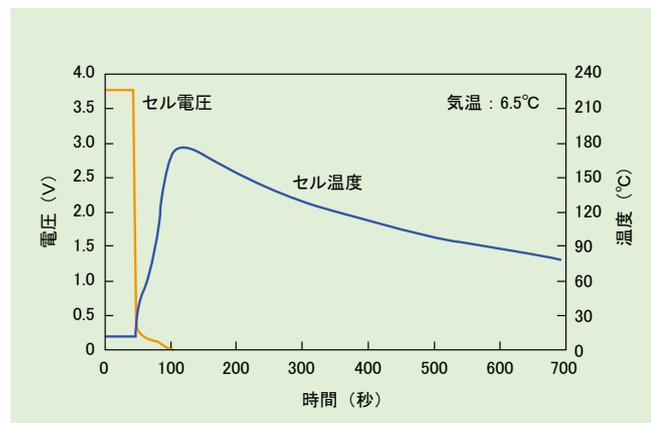


図6 圧壊試験結果
Fig.6 Crush test

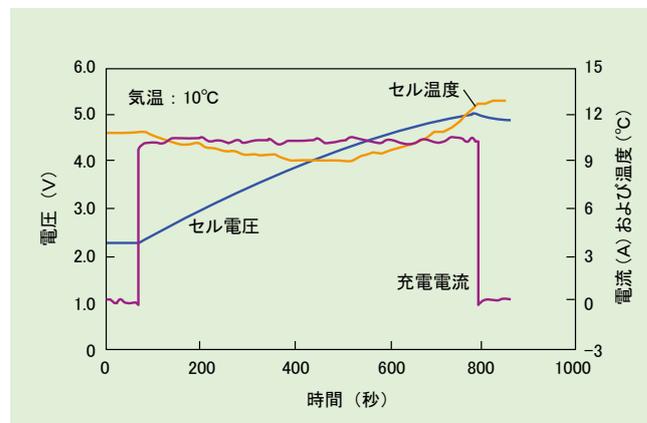


図8 過充電試験結果
Fig.8 Overcharge test

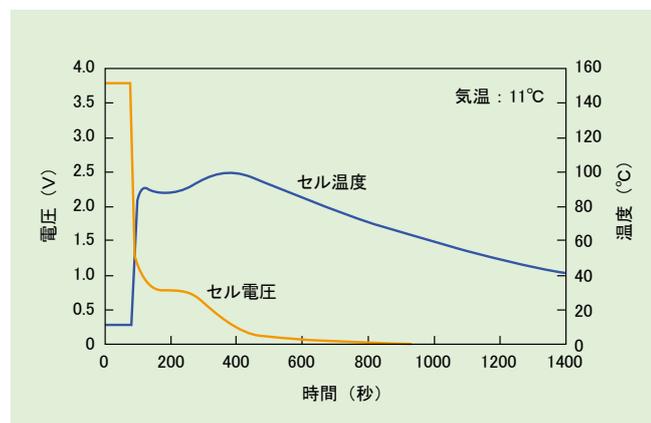


図7 釘刺し試験結果
Fig.7 Nail penetration test

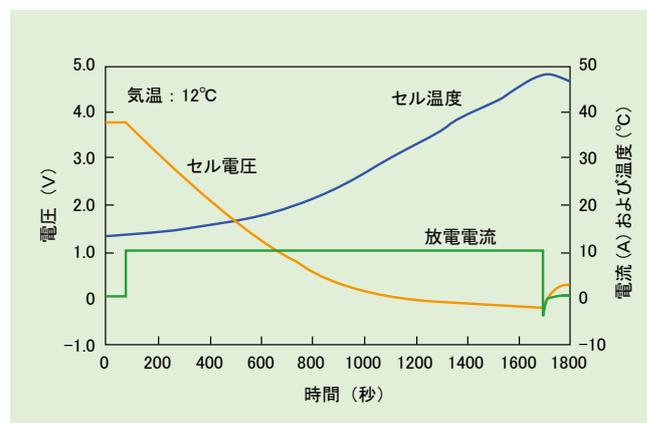


図9 過放電試験結果
Fig.9 Over discharge test

する。SLC-B152 は、SLC-B110 の設計を引き継いでいるので基本的には高い耐振動性能があると考えられる。一方、長尺化は耐振動性能に負の影響を与える可能性があるため、振動によるセルへの影響、漏液や破裂や発火の有無を確かめた。

表2に振動試験結果を示す。試験後の電圧は試験前の99%以上であった。また漏液や破裂、発火は無く、試験後のセルの分解調査でも振動の影響で壊れたところは見られなかった。

3.4.7 落下試験

落下試験は、作業中に机からセルを落下させることを想定している。落下による安全弁の作動、電解液の噴出、破裂や発火等の有無を調べる。

図10に落下試験結果を示す。コンクリートの床に当たったところは、チューブが破損し電池缶に傷が付いたが、破裂、発火は無かった。

全ての試験で破裂、発火は生じず、SLC-B152 は高い安全性を有すると結論付けられる。

今回 SLC-B152 を開発したことにより、自動車や建設機械等の電力回生用途には小型の SLC-B110、AGV 等の主電源や電力安定化等のキュービクル用途には大容量化した SLC-B152、というように用途によりセルを使い分けた提案が可能になった。

3.5 モジュール開発

SLC-B152 を使い、AGV 等の 24 V 系、48 V 系主電源および大型キュービクルへの搭載に適したモジュールを開発した。

3.5.1 8 セルおよび 16 セルモジュール

AGV 等、多くの産業車両の電源の主流は 24 V 系および 48 V 系である。24 V 系は一般的に 12 V サイクル用液式またはシール鉛蓄電池が 2 個直列に搭載されている。48 V 系ではクラッド型鉛蓄電池や液式の鉛蓄電池が用いられることが多い。

表2 振動試験結果

Table 2 Results of vibration test

項目	振動試験前	振動試験後	電圧保持率
セル 1	3.796 V	3.786 V	99.7 %
セル 2	3.796 V	3.787 V	99.8 %
セル 3	3.796 V	3.786 V	99.7 %
セル 4	3.796 V	3.786 V	99.7 %

図10 落下試験結果

Fig.10 Cell drop test



多い。LCAP[®] の放電平均電圧は 3 V なので、24 V 系への対応は 8 直列 (上限電圧 : 30.4 V) が適し、48 V 系の場合は 16 直列 (上限電圧 : 60.8 V) が適する。このため、AGV 等の産業車両向けモジュールは 8 直列および 16 直列で開発することとした。

図11に開発した8セルおよび16セルモジュールの外観を、表3には仕様を示す。これらのモジュールは、8セル、16セルおよび電圧監視制御装置¹²⁾を内蔵しながらも、収納効率を高めたことにより小型化を実現した。8セルモジュールは、24V系の低床AGVに適しており、低床型で一般的に使用される24Ahのシール鉛蓄電池とほぼ同じ大きさである。16セルモジュールは、LCAP[®]の構成を16直列1並列、8直列2並列のどちらにもすることができ、24V系と48V系のどちらにも対応できる。より多くの容量が必要な場合は、この16セルモジュールを並列に接続することにより対応することができる。

これらのモジュールは急速充電が可能なので、このモジュールを使った自動充電システムを組むことにより、毎日の鉛蓄電池の交換作業と充電場のスペースの確保の必要が無くなる。また、長寿命のため機器の寿命まで使用できるAGVシステムを構築できる。このモジュールに搭載した電圧監視制御装置は、上下限電圧、温度、セルの電圧バランスを監視しており、これらに異常が発生した場合にはオープン



図11 8セルモジュールおよび16セルモジュールの外観

Fig.11 Appearance of 8 cell module and 16 cell module

表3 8セルモジュールおよび16セルモジュールの仕様

Table 3 Specifications of 8 cell module and 16 cell module

項目	8セルモジュール		16セルモジュール	
	8直列1並列	8直列2並列	8直列1並列	16直列1並列
型名	SLCB152MD0801	SLCB152MD0802	SLCB152MD1601	SLCB152MD1601
電圧範囲 (V)	17.6 ~ 30.4	17.6 ~ 30.4	35.2 ~ 60.8	35.2 ~ 60.8
放電容量 (Ah)	0.8	1.6	0.8	0.8
電力量 (Wh)	19.2	38.4	38.4	38.4
寸法 (mm)	W 178×D 167×H 113	W 178×D 167×H 200	W 178×D 167×H 200	W 178×D 167×H 200
質量 (約 kg)	5	9	9	9
エネルギー密度 (Wh/ℓ)	6.1 (端子を含まない)	6.7 (端子を含まない)	6.7 (端子を含まない)	6.7 (端子を含まない)
端子	M5 ボルト	M5 ボルト	M5 ボルト	M5 ボルト
制御基板機能 (内蔵)	上下限電圧監視, 温度監視 セル電圧バランス制御 モジュールの異常出力 4個の汎用ポート出力	上下限電圧監視, 温度監視 セル電圧バランス制御 モジュールの異常出力 4個の汎用ポート出力	上下限電圧監視, 温度監視 セル電圧バランス制御 モジュールの異常出力 4個の汎用ポート出力	上下限電圧監視, 温度監視 セル電圧バランス制御 モジュールの異常出力 4個の汎用ポート出力

ンコレクタ出力で異常を発信する。異常信号はモジュール上面部の LED によっても確認できる。また電圧監視制御装置には4個の汎用ポートがあり、モジュールの電圧や温度の条件によって外部リレーを動作させたり、LEDを点灯させたりすることができる。汎用ポートを使えば小型鉛蓄電池をバックアップとして使用することができ、何らかの異常が発生した場合やメンテナンス等で機器が長時間停止した場合もトラブルに至らない。また、このモジュール自体にはパワーラインを繋げたり切断したりする機能は無いが、汎用ポートを使って外部リレーを動作させることで実現可能である。

尚、DC/DCコンバータや小型鉛蓄電池をバックアップとして使用するシステムを開発済みであり、オプション設定している。

3.5.2 キュービクル用 32セルモジュール

直流電圧は750Vを超えると、電気設備に関する技術基準を定める省令第二条により高圧と分類される。従って、キュービクルは700～750Vを上限電圧として設計されることが多い。またキュービクルの高さの制約から、キュービクル内に設置できる段数は5～6段に制限される。また、電圧監視制御装置は最大16セルまでの監視および制御が可能であることも考慮して、キュービクルへ搭載するモジュールは32直列で開発することにした。このモジュールをキュービクルに直列に6台を接続すれば730Vまで対応することができる。

図12に開発した32セルモジュールの外観、表4には仕様を示す。前面のパネル内に前述の電圧監視制御装置が付いており、モジュールの状態をLEDで確認できる。この電圧監視制御装置はデジチェーン方式で接続する機能があり、上位のコントローラに送信する信号の本数を少なくすることができる。モジュールの前面パネルをはずすと、プラスおよびマイナスの端子にアクセスできるようになっている。またキュービクルに固定できるように、モジュール下部にはレールを搭載している。これらはキュービクルの仕様に合わせて変更可能である。

実際にキュービクルに搭載した様子を図13に示す。このキュービクルを瞬低補償装置や電力系統安定化装置のパ

ワーコンディショニングシステム (PCS) に接続し、LCAP[®]の充放電をコントロールする。

今回開発したこの二つのモジュールは、SLC-B152の特長を活かし、従来のSLC-B110が苦手としていた大電力の放電かつ大容量が必要なシステムの主電源やキュービクルの分野にも十分に対応することができ、LCAP[®]を適用できる分野の裾野を広げるものである。



図12 32セルモジュールの外観
Fig.12 Appearance of 32 cell module

表4 32セルモジュールの仕様
Table 4 Specifications of 32 cell module

項目	32セルモジュール
型名	SLCB152MD3201
電圧範囲	70.4 ~ 121.6 V
放電容量	0.8 Ah
電力量	76.8 Wh
寸法	W 181 × D 422 × H 209 mm



図 13 32 セルモジュールを組み込んだキュービクル
Fig.13 Storage panel with 32 cell modules mounted in it

〔4〕 結 言

SLC-B110 を長尺化し性能を向上させた SLC-B152 とモジュールを開発した。

- (1) SLC-B110 に比べて、放電容量は約 1.6 倍の 800mAh、エネルギー密度は約 1.2 倍である。
- (2) 信頼性、安全性は SLC-B110 と同等である。
- (3) SLC-B110 は電力回生用途、SLC-B152 は主電源やキュービクル用途に適している。
- (4) 8 セルおよび 16 セルモジュールは AGV 等の 24 V 系、48 V 系の主電源用途に適している。
- (5) 32 セルモジュールはキュービクルへの搭載に適している。

〔5〕 今後の展開

SLC-B152 が高い信頼性および安全性を有していることが分かった。今後は電極の収納効率を上げることによる更なる大容量化と使用部材の見直しによる低 DCR に取り組み、セルの性能を向上させる。

〔参考文献〕

- 1) 上原秀秋 他：高信頼性円筒型リチウムイオンキャパシタ，新神戸テクニカルレポート，No. 20，pp.9-16 (2010)。
- 2) 高橋正好 他：減速エネルギー回生システム” i-ELOOP” の開発，マツダ技報，No. 30，pp.37-42 (2012)。
- 3) 枝村学 他：電動・ハイブリッド化による建設機械の省エネルギー化，日立評論，Vol.94 No.05，pp.34-37 (2012)。
- 4) 井上宏昭：PC-200-8 ハイブリッド油圧ショベルの紹介，コマツテクニカルレポート (コマツ技報)，Vol.54 No.161，pp.26-31 (2008)。
- 5) 鹿兒島昌之 他：ハイブリッドショベルの開発，神戸製鋼技報，Vol.57 No.1，pp.66-69 (2007)。
- 6) 河崎吉則：瞬時電圧低下対策装置の技術紹介，日新電機技報，Vol.47 No.1，pp.9-14 (2002)。
- 7) 渡辺純一 他：電気二重層キャパシタ式瞬時電圧低下補償装置，明電時報，通巻 323 号 No.2，pp.4-7 (2009)。
- 8) 奥井芳明 他：高機能瞬時電圧低下補償装置「SANUPS C33A」の開発，山洋電気テクニカルレポート，No.31，pp.15-19 (2011)。
- 9) 小島武彦，福屋善文：離島向けマイクログリッドシステム，富士時報，Vol.84 No.3，pp.188-193 (2011)。
- 10) 仁井真介，神通川亨：自然エネルギーの発電出力安定化技術，富士時報，Vol.80 No.2，pp.162-165 (2007)。
- 11) 技術情報協会：「自動車用」電気二重層キャパシタとリチウムイオン二次電池の高エネルギー密度化・高出力化技術，pp.482-486(2005)
- 12) 中條政重 他：リチウムイオンキャパシタ用電圧監視制御装置，新神戸テクニカルレポート，No.22，pp.9-14 (2012)。