

HEV 用リチウムイオン電池 EHW4SB の開発

Development of Li-ion cell EHW4SB for HEV

新 田 和 司* 辻 田 幸 平* 都 成 拓 馬* 丸 山 準*
松 井 裕 樹* 杉 山 侑 輝* 中 村 純*

Kazushi Nitta Kohei Tsujita Takuma Tonari Jun Maruyama
Hiroki Matsui Yuki Sugiyama Jun Nakamura

Abstract

The lithium-ion battery "EHW4SB" for hybrid electric vehicles (HEV) has a low height and high low-temperature power characteristics. EHW4SB is 20 mm lower in height than the previous model EHW5, achieving over 20% downsizing and 10% lightening. Optimized the internal structure of the cell and reduced the height of the cell. The new assembled lid allows larger elements to be placed inside the cell than before, resulting in an improved cell energy density. As for power characteristics, a new positive electrode active material with reduced secondary particle density has been applied to improve low-temperature power characteristics at around -10°C , which is required to improve fuel efficiency and driving performance.

Key words : Li-ion battery; Hybrid Electric Vehicles; low cell height

1 はじめに

カーボンニュートラル社会の実現にむけて、自動車業界は電気自動車 (BEV) に代表される xEV とよばれる自動車の電動化を急ピッチに推進している。

昨今では日本におけるハイブリッド自動車 (HEV) やプラグインハイブリッド自動車 (PHEV) の保有台数が 1,000 万台を超えており¹⁾、今後さらに xEV 化は加速し、大きく普及すると考えられる。

上記の xEV 化において、HEV はその実用性や導入コストの観点から、依然として高い市場ニーズを継続しており、電動化のベース技術として、今後もさらなる需要拡大および普及期に応じた高機能化が期待されている。

HEV 用リチウムイオン電池についても、これまでの常温付近の燃費改善を主とした仕様・性能要求に加え、ハイブリッドシステムの差別化や部品の汎用化ニーズが高くなっており、求められる性能も HEV の高機能化を背景としている。具体的には、搭載性の改善のためセル・パックのさらなる小型化や -10°C 程度までを想定した低温走行時の燃費や加速性能の向上など、HEV のさらなる普及には欠かせない特性の向上である。

これらの市場ニーズを受け、従来機種 of EHW5 セルから、さらなる小型化および低温での高出力性能を達成した EHW4SB セルを新たに開発した。本稿では EHW4SB の仕様、性能および特徴について説明する。

* (株)ブルーエナジー 技術開発部

2 仕様と特徴

2.1 仕様

EHW4SBの外観を図1に、EHW5との仕様比較を表1に示す。従来機種のEHW5セルはVDA規格に適合するセル寸法である。

EHW4SBセルは、外形の長さ寸法および幅寸法はEHW5と互換しつつ、高さ寸法を大幅に低減した低ハイトセルである。具体的には高さ寸法を従来の85 mmから65 mmに低減することにより、体積では24%の小型化をしている。またその質量は0.19 kgであり13%軽量化している。セル容量は4.7 AhでありEHW5よりも小さくなっているが、体積エネルギー密度は従来から20%以上向上している。また、後述する正極活物質の改良により低温入出力特性が大幅に向上している。

次にEHW4SBのセル内部構造を図2に示す。集電体を備えた蓋部品（組蓋）と巻回タイプの発電要素

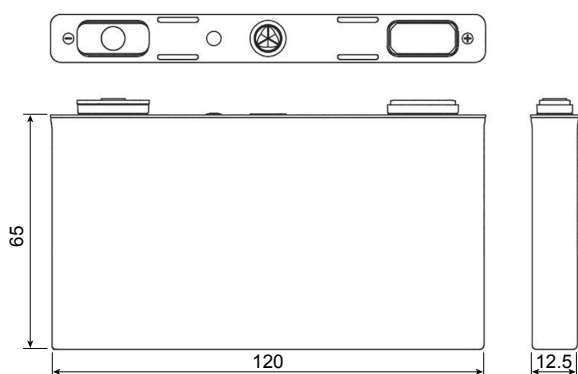


図1 EHW4SBセルの外観
Fig.1 Appearance of EHW4SB cell.

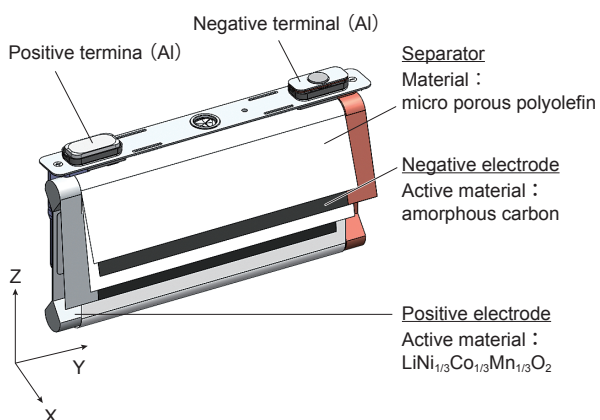


図2 EHW4SBセルの内部構造
Fig.2 Inner structure of EHW4SB cell.

表1 EHW4SBセルおよびEHW5セルの仕様比較
Table 1 Specifications of EHW4SB and EHW5 cells.

Model	EHW4SB	EHW5
Capacity(minimum) /Ah	4.7	5.0
Nominal voltage /V	3.6	3.6
Length / mm	120	120
Width / mm	12.5	12.5
Height / mm*	65	85
Volume / L	0.098	0.128
Mass / kg	0.19	0.22
Operational temperature range	-30 to 55°C	-30 to 55°C
Storage temperature range	-40 to 65°C	-40 to 65°C

*Excluding terminals

(巻回体)を超音波溶接で接合してケースに収納している。セルの電気的特性を決定する正極と負極には、それぞれ、小粒径化した低抵抗なLi(Ni,Co,Mn)O₂と高耐久なハードカーボンを活物質としてもちいるという電極の基本構成や耐熱性の高いポリオレフィンセパレータの採用など、トータルバランスを重視する設計コンセプトはEHW5と同様であり、HEV用セルに求められる出力・耐久性・安全性を高いレベルで実現している。

2.2 特徴

2.2.1 小型化

HEVシステムの、フロア下やシート下への搭載性向上のため、EHW4SBセルは特に高さ寸法を低減（低ハイト化）している。

セルの低ハイト化をおこなうためには限られたセル内部空間を効率的に使用する必要があるため、セルの内部構造を全面的に見直した。EHW4SBは新しく低ハイトセル専用の組蓋を採用し、これによりセルのエネルギー密度を高めている。

図3に組蓋の構造を示す。組蓋は、集電体から端子に繋がる通電経路を有している。

内部空間を有効利用するためにEHW4SBでは集電体の構造を中心に改良をおこなった。従来のEHW5では、巻回体の両サイドを挟み込むように、ケース長側面に対して直交する形で集電体を配置していた。そのため、巻回体は集電体の内側に収められるサイズにする必要があり、幅方向（図3 Y方向）の内部空間の活用においては改善の余地が残っていた。そこで、EHW4SBでは、ケース長側面に並行する形で集電体の配置を変更した。これにより、幅方向に収容できる巻回体のサイズは前述の集電体配置による制約を受けることがなくなり、従来比で3%以上、幅の広い巻回体をケースに収容することができた。加えて、集電体

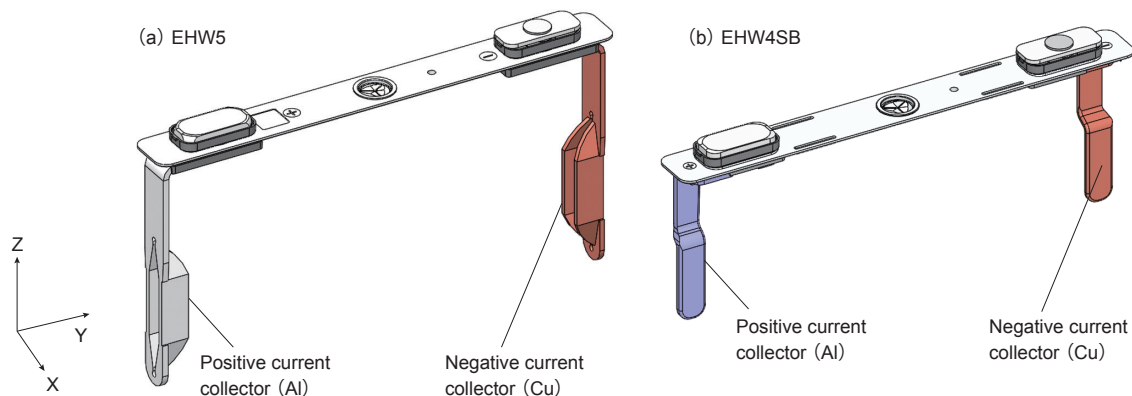


図3 (a) EHW5 および (b) EHW4SB セルの組蓋構造
 Fig.3 Assembled lid structure of (a) EHW5 and (b) EHW4SB cells.

は短尺化や厚板化をおこない構造体の電気抵抗としても低抵抗化している。その他の部品についても機能の見直しや小型化をおこなった結果、EHW5の組蓋に対して10%以上の低抵抗化および20%以上の軽量化を達成した。

2.2.2 低温出力特性

HEV用リチウムイオン電池を開発する上で最も重要な特性である出力特性についても市場ニーズの変化がある。

図4に25℃および-10℃におけるEHW5セルの出力性能を示す。

常温域の常用出力はハイブリッドシステムに制限さ

れる最大電流によって決定される領域が大部分を占めている。EHW5のアシスト出力性能の場合、常用される充電状態(State of Charge : SOC) 25 ~ 85%の領域で電流による制限出力となっている。つまり常温域ではセルの出力性能はシステムに対して十分高いことを示している。

一方、低温域ではセルの出力特性がシステム出力の律速となっており、低温域の出力特性について改善が求められている。具体的には、実用的に電池の入出力頻度がある程度高い、-10℃程度までの低温域におけるセルの出力特性の向上である。

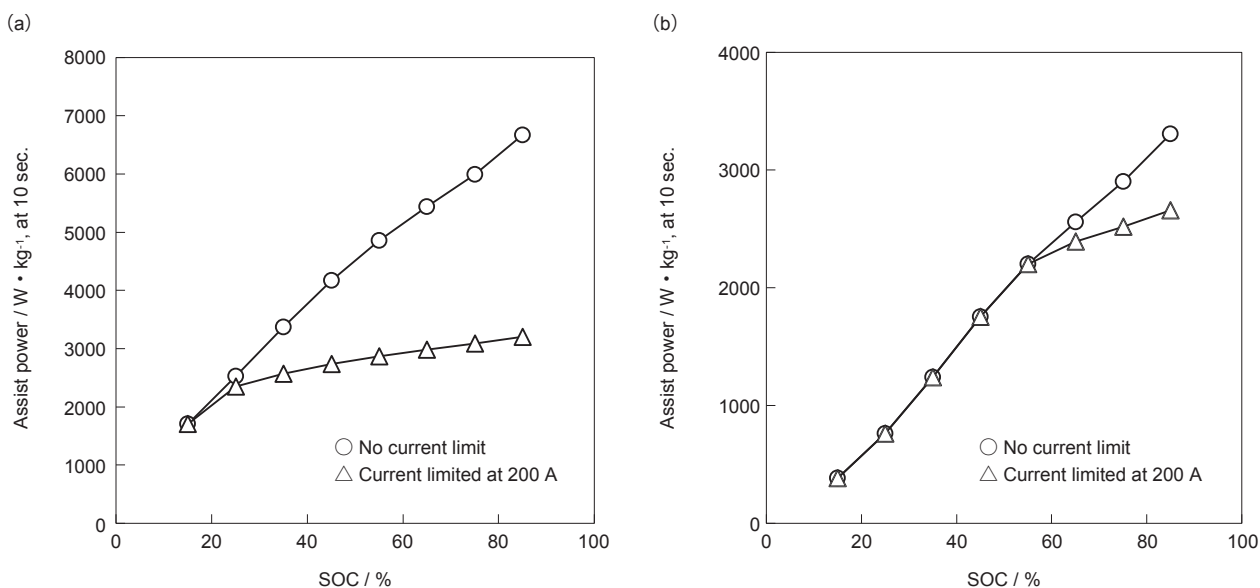


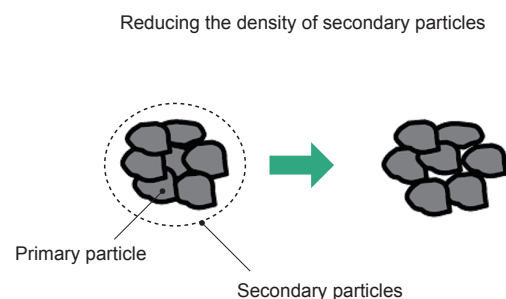
図4 EHW5セルの(a) 25℃ および (b) -10℃における電流の制限有無による出力変化
 Fig.4 Assist power characteristics of EHW5 cell when current is limited and not limited at (a) 25℃ and (b) -10℃.

低温出力特性を向上するためには、Li イオンの反応抵抗を低減することが有効である。

電池仕様としては、電池容量の増加や電極の長尺化などで Li イオンの反応抵抗を低減することが可能であるが、セルのコストアップや大型化・重量増加などの背反する課題がある。

これらを解決するために正極活物質の二次粒子形状に着目した。二次粒子とは、一次粒子が凝集することによって形成される粒子のことである。疎な二次粒子を形成することによって、Li イオンの反応面積の増加、および、それに伴う反応抵抗の低減が期待できる。

(a)



(b)

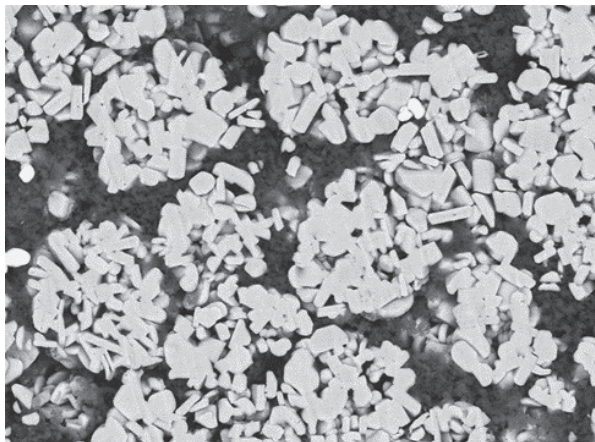


図5 (a) 二次粒子密度低減の模式図 (b) 二次粒子密度を低減した正極活物質の断面 SEM

Fig. 5 (a) Schematic illustration of reducing the density of secondary particles and (b) cross-sectional SEM of positive electrode active material with low density secondary particles.

EHW4SB にもちいた新規な正極活物質の断面 SEM 像を図5に示す。一次粒子の間に空隙が存在しており、疎な二次粒子が形成されていることが確認できた。さらに、Li イオンの反応面積の指標としている活物質の BET (Brunauer Emmett Teller) 比表面積を測定した結果、新規な正極活物質の BET 比表面積は、従来品と比較して 1.5 倍ほど大きかった。

次に、セル構造や容量、電極長さなどの仕様は同一にして、正極活物質のみが異なる 5 Ah 級のセルを作製し、IV 法により求められる DC resistance (DCR) の比較をおこなった。その結果、新規な正極活物質をもちいた際の DCR は、従来品をもちいた場合よりも低かった。一例として、新規な正極活物質をもちいた場合の、SOC 25%における 1 秒目の DCR の低減効果を図6に示す。正極活物質を従来品から新規品に変更した際の DCR 低下率は、 -10°C では 10% 以上、 -30°C では 15% 以上であった。

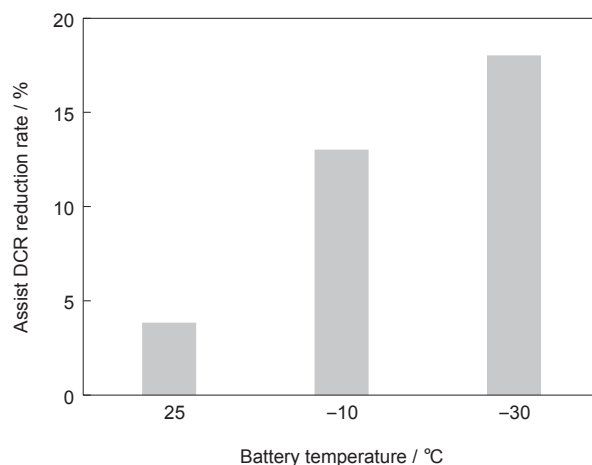


図6 新規正極活物質適用による DC 抵抗低減効果
Fig. 6 Assist DC resistance reduction rate by applying new positive electrode active material.

また、上記の正極活物質は EHW5 で採用した高耐久な $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 組成を採用しているため、耐久性と熱安定性についても従来同等である。

3 電気的特性

3.1 開回路電圧特性

図7に EHW4SB の各 SOC における開回路電圧 (Open-circuit Voltage : OCV) 特性を示す。

EHW5 と同様に SOC 0~100%までの全領域で電圧に傾斜を有しており、電圧による SOC 検知に有利である。また、温度依存性が小さかった。

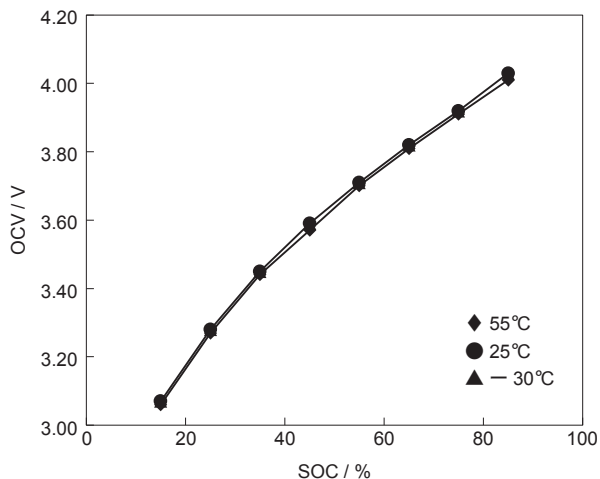


図7 EHW4SB セルの -30, 25, 55°Cにおける SOC-OCV 特性

Fig. 7 OCV-SOC characteristics of EHW4SB cell at -30, 25, and 55°C.

3.2 出力特性

図8に EHW5 と比較した EHW4SB の重量当たりの出力性能を示す。グラフの値は、最大電流 200 A, 上限電圧 4.2 V, 下限電圧 2.4 V, 10 秒目の出力を示す。

EHW4SB の 25°C 出力は、EHW5 の場合よりも 15%程度向上している。これはセルの軽量化による効果が支配的である。

また、-10°C出力は SOC 25 ~ 55%の範囲で 20%以上向上している。これは先に述べた正極活物質の改良効果によるところが大きい。

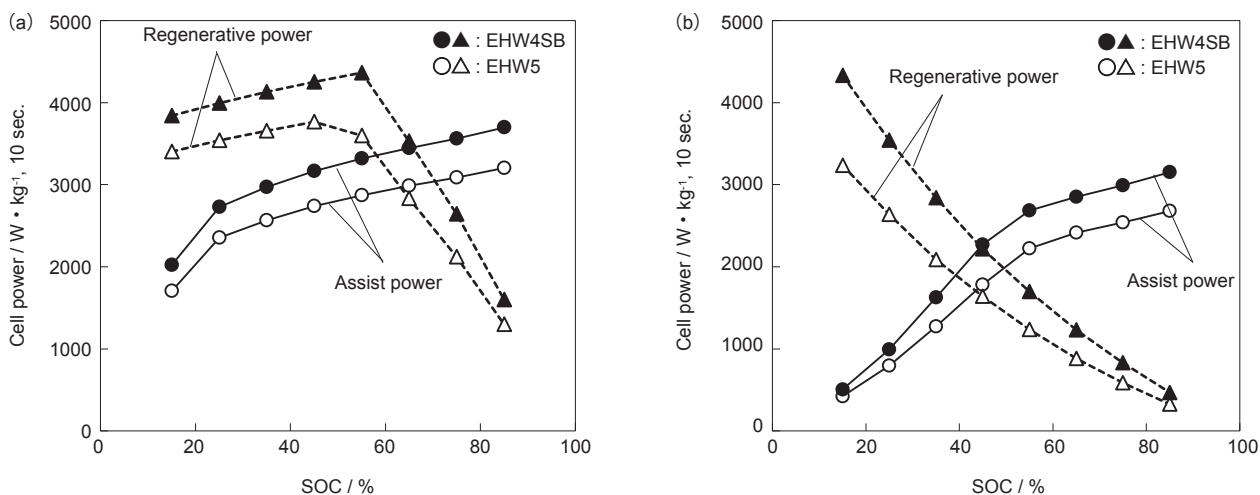


図8 EHW4SB および EHW5 セルの (a) 25°C および (b) -10°Cにおける 10 秒アシスト / 回生出力特性 (最大電流 : 200 A, 電圧範囲 : 4.2 - 2.4 V)

Fig. 8 Assist and regenerative power characteristics of EHW4SB and EHW5 cells for 10 seconds operating as a function of SOC at (a) 25°C and (b) -10°C . The limited current and voltage range are 200 A and 4.2 - 2.4 V, respectively.

3.3 耐久特性

3.3.1 充放電サイクル寿命特性

EHW4SB に対して充放電サイクル試験を実施した。温度は EHW4SB の許容最大温度である 55℃，電流値は HEV の平均負荷を想定して 40 A とした。

- (i) SOC 15%~85% の広い SOC 範囲，もしくは，
- (ii) SOC 35%~65% の HEV 実車使用を想定した SOC 範囲

にて連続的な充放電をおこない，所定のサイクル毎に容量および出力を確認した結果を図9に示す。実用に比べ過酷な条件となる (i) において，30,000 サイクル経過後の容量および出力は初期の 80% 以上を維持

した。また実用に近い条件 (ii) においては，90% 以上の高い維持率を示し，優れたサイクル寿命性能を有している。

3.3.2 カレンダー寿命特性

図 10 に EHW4SB のカレンダー寿命性能を示す。

任意の SOC，温度で保存し，所定の期間毎に容量および出力性能を確認した。一般的に HEV では 50% 付近の SOC で使用されることが多い。図には，それより過酷な条件となる (iii) SOC 85%，温度 65℃ で保存したもの，実車使用を想定した条件となる (iv) SOC 65%，温度 45℃ で保存したものを比較して示す。

試験期間 390 日後において，条件 (iii) では初期

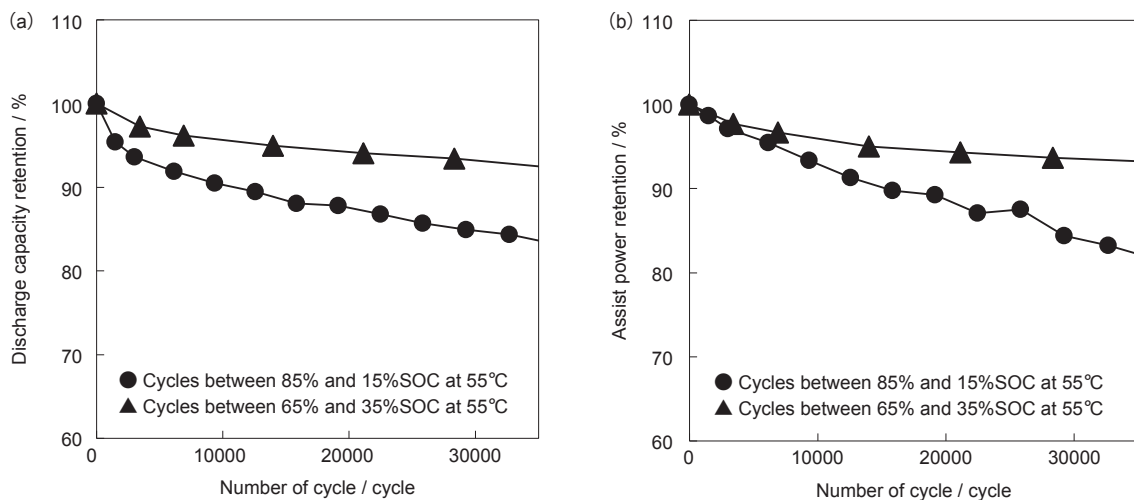


図9 EHW4SBセルの55℃・40A定電流サイクル試験における(a)25℃・1CA放電容量維持率および(b)SOC55%・25℃・10秒アシスト出力維持率

Fig. 9 (a) 1 CA discharge capacity retention at 25℃ and (b) assist power retention for 10 seconds at 55% SOC and 25℃ in 40 A constant current cycle test at 55℃ of EHW4SB cell.

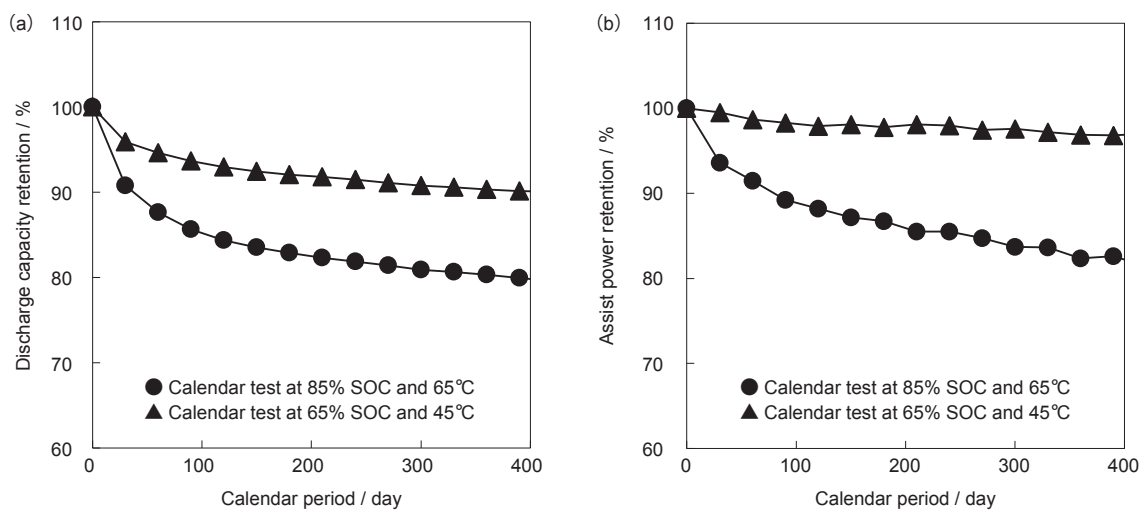


図10 EHW4SBセルのカレンダー試験における(a)25℃・1CA放電容量率および(b)SOC55%・25℃・10秒アシスト出力維持率

Fig. 10 (a) 1 CA discharge capacity retention at 25℃ and (b) assist power retention for 10 seconds at 55% SOC and 25℃ in calendar life test of EHW4SB cell.

容量および出力に対して80%以上の維持率を示している。条件(iv)では、それらの維持率は90%以上を示している。

4 まとめ

本稿で説明した EHW4SB は、低ハイト化および軽量化の市場ニーズに対応した HEV 用リチウムイオン電池である。

セル外形の高さ寸法を、従来の EHW5 セルの 85 mm から EHW4SB セルの 65 mm へと、20 mm 低ハイト化することで、セル体積では 20% 以上の小型化を達成した。また入出力特性においては、正極活物質の二次粒子密度の低減による反応面積向上によって、低温出力特性が大きく向上した。耐久特性においては、サイクル寿命およびカレンダー寿命ともに従来機種と同等の結果が得られた。本開発で得られた知見をベースに、今後も市場ニーズを取り入れた、出力・耐久性・安全性のトータルバランスを高い次元で達成する EHW シリーズの開発を継続する。

参考文献

1. 一般財団法人 自動車検査登録情報協会のデータベース
<https://airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>
わが国の自動車保有動向 ハイブリッド車・電気自動車の保有台数推移表(平成27年~令和5年)
2. Y. Sogo, T. Araki, Y. Kashiwa, T. Matsuyoshi, S. Kozono, S. Ochiai, and T. Iguchi, *GS YUASA Technical report*, **16**(1), 33-39(2019).