

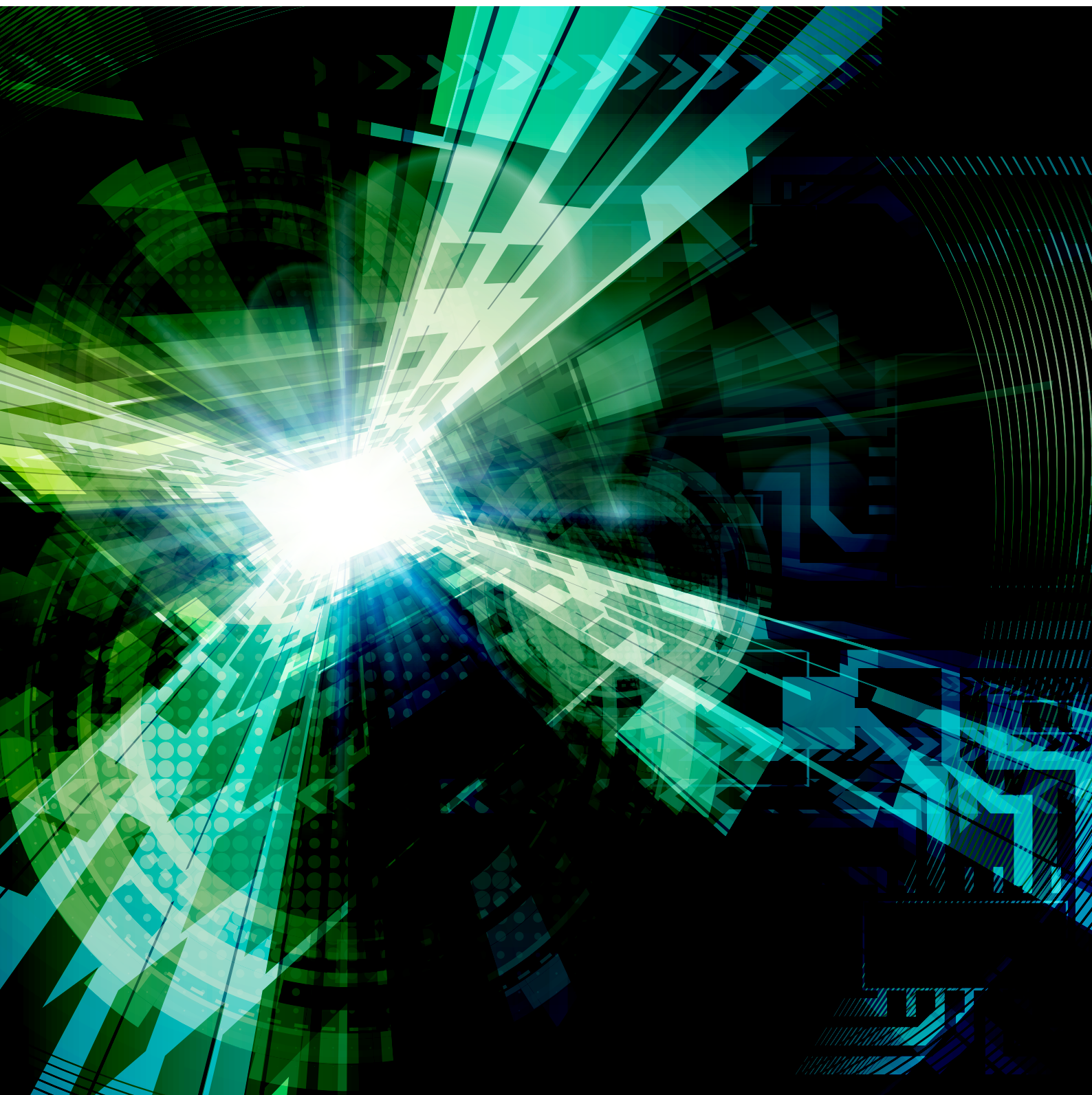
ISSN 1345-8426

FB

2013.12

No. 69

テクニカルニュース



FBテクニカルニュース No.69号

2013年(平成25年)12月発行

発 行 所 古河電池株式会社
横浜市保土ヶ谷区星川2-4-1

編 集 FBテクニカルニュース編集委員会
編集委員長 小野 眞一
編 集 委 員 飯塚 博幸、井奈福 浩之、加納 哲也、坂井 幹之、
櫻井 正人、柴野 具文、岩田 正範

非売品(無断転載を禁じます)

*お問い合わせは、企画部(☎045-336-5078)までお願い致します。

目 次

巻頭言

UltraBattery その開発と協力関係、そして性能について

Lan Trieu Lam Ph.D 1

報文

マイクロハイブリッド車用液式 UltraBatteryの実車評価

川口 祐太郎、廣部 浩史、清水 博文13

据置用 UltraBatteryによる蓄電システム実証試験

土橋 朗、手塚 渉、三浦 優、古川 淳、佐藤 敏幸19

産業用リチウムイオン電池の開発とけいはんなエコシティ

次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクトへの参画

箱崎 安洋、平 芳延、大平 賢治、阿部 勲、阿部 英俊 26

小惑星探査機「はやぶさ2」用リチウムイオン電池の開発

小出 和也、蛭田 輝繁、大登 裕樹、阿部 英俊 32

技術解説

SBA G 0603の改正（蓄電池室ー蓄電池設備に関する技術指針）

柴野 具文 39

トピックス

自動火災報知設備用予備電源（鑑定品）の変更について 40

いわきー仙台間走破！マグネシウム空気電池搭載トライク 41

新商品紹介

キャパシタ機能融合バッテリー ECHNO IS UltraBatteryシリーズ 42

Contents

Opening Remarks

UltraBattery™ —Development, Cooperation and Performance	Lan Trieu Lam Ph.D.....1
---	--------------------------

Technical Papers

Field Trial of the Flooded-type UltraBattery for Micro-HEV Application	Yutaro Kawaguchi, Kouji Hirobe, Hirofumi Shimizu.....13
Demonstration of the battery energy storage system using Stationary UltraBatteries	Akira Dobashi, Wataru Teduka, Yuu Miura, Jun Furukawa, Toshiyuki Sato.....19
Development of the Stationary Lithium Ion Battery and Participation in Keihanna Eco-City the Next-generation Energy and Social Systems	Yasuhiro Hakozaiki, Yoshinobu Taira, Kenji Ohira, Isao Abe, Hidetoshi Abe.....26
Development of Lithium-Ion Battery for the Asteroid Explorer “Hayabusa2”	Kazuya Koide, Terushige Hiruta, Hiroki Ooto, Hidetoshi Abe.....32

Technological Analysis

The Revision of SBA G 0603	
Battery Room-Technical Guidance for Battery Systems	Tomobumi Shibano.....39

Topics

About Change of the Standby Power Supply for Automatic Fire Information Equipment.....40
The Trike Equipped with the Magnesium Air Battery Ran from Iwaki to Sendai41

New Products

Capacitor Hybridized Battery ECHNO IS UltraBattery.....42

UltraBattery その開発と協力関係、そして性能について

UltraBattery™ — Development, Cooperation and Performance

Lan Trieu Lam Ph. D

A former senior principle research scientist in CSIRO Energy Technology, Clayton South, VIC, Australia. He has worked on the advancement of lead-acid battery technology for 24 years and is the primary inventor of the UltraBattery™ — a step-change technology for hybrid-electric vehicle and renewable-energy applications.



1. はじめに

自動車や石炭火力発電所による二酸化炭素の排出は、地球温暖化の原因であり、その解決策はHEVの導入や再生可能エネルギーの利用である。これらの技術は最適な蓄電池を特に必要としている。HEVはアイドリングストップ、電力回生ブレーキ、モーターアシスト、EV走行など、いずれの機能も蓄電池に高速の充放電を要求する。風力や太陽光といった再生可能エネルギーは出力の変動が大きく、蓄電池による変動抑制が行われている。ここでも蓄電池は高速の充放電が求められる。このように、HEVや風力・太陽光発電システムに用いられる蓄電池は、高速充放電性能が優れ、長寿命で、低コストでなければならない。

2. エネルギー貯蔵システムについて

HEVや再生可能エネルギーにとって、鉛蓄電池は初期投資コストやリサイクル効率の面で顕著に優位であるが、寿命が短い欠点がある。この用途では、部分充電状態で高速の充放電を繰り返すが、鉛蓄電池は負極の反応が律速となってサルフェーションが進み、充放電が困難となる。この負極の問題を解消するため、正極が二酸化鉛、負極がキャパシター電極からなる非対象キャパシターを、鉛蓄電池と電極レベルで融合し、一つのセル内に収納したUltraBatteryを発明した。UltraBatteryは2003年にCSIROで発明され、2005年に古河電池にライセンスを供与し、以来CSIROと古河電池はUltraBatteryの研究開発と製造販売を共同で行なっている。その後、2008年にCSIROと古河電池は米大手鉛蓄電池

メーカーのEast Penn社にライセンスを供与した。現在、古河電池とEast Penn社は自動車用と産業用のUltraBatteryの製造が可能である。

3. UltraBatteryのHEVへの応用

HEV用の評価試験で、UltraBatteryは従来の鉛蓄電池と比べて優れた性能を示した。また、サイクル寿命試験では、従来の鉛蓄電池よりも格段に優れ、Ni-MH電池に匹敵するサイクル寿命を達成した。更に、HEVを用いた実車試験では、古河電池製とEast Penn社製のUltraBatteryは、いずれも100,000マイル以上を走破した。

4. UltraBatteryの風力・太陽光発電への応用

UltraBatteryはHEV用途で部分充電状態における高速の充放電に強いことが実証されたが、風力・太陽光発電の蓄電システムでは、これに加えて充電状態が大きく変動する。UltraBatteryはこのような条件でも従来鉛蓄電池に比べて優れたサイクル寿命を示した。また、UltraBatteryを用いた実証試験は、日本、米国、豪州で多数行なわれている。

5. まとめ

UltraBatteryは、正極が二酸化鉛、負極がキャパシター電極からなる非対象キャパシターを、鉛蓄電池と電極レベルで融合し、一つのセル内に収納したキャパシターハイブリッド型鉛蓄電池である。UltraBatteryはHEVと再生可能エネルギー用途で長寿命であることが成功裏に実証された。現在、古河電池とEast Penn社は、アイドリングストップ車用、HEV用および再生可能エネルギー用のUltraBatteryを量産中である。

筆者紹介：Lam博士は1979年に横浜国立大学で修士、1982年に東京工業大学で電気化学の博士号を取得。その後、豪CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia), Energy Technologyに勤務、2013年に退官。前上級主任研究員。24年間、鉛蓄電池技術の発展に尽くし、2011年に鉛蓄電池研究者の最高の栄誉であるGaston Planté Medalを受賞するなど、鉛蓄電池研究の第一人者である。更に、HEV (Hybrid Electric Vehicle) と再生可能エネルギー用鉛蓄電池の革新技術、UltraBatteryに関する基本特許技術の発明者である。

Abstract

This article has highlighted the importance of protecting the negative plate of the lead-acid battery from discharge and charge at the high rates under hybrid electric vehicle (HEV) and wind-energy duties. A solution to this operational problem has been demonstrated by the unique CSIRO UltraBattery - a hybrid energy storage device, which combines a supercapacitor and a lead-acid battery in one unit cell without the need of extra electronic controls. The supercapacitor can act as buffer to share the discharge and charge currents with the lead-acid negative plate and thus protect it being discharged and charge at the high rates. Furthermore, this also helps to maintain the balance of individual UltraBattery voltages in the battery pack for a long time during HEV and renewable-energy operations until the positive plates become the limitation of the battery performance. Consequently, the UltraBattery has shown significantly long life in both laboratory tests and field trials either in HEVs and wind- / solar-energy systems. Clearly, the UltraBattery is a step-change technology that will reduce the cost and boost the performance of batteries in HEVs and renewable-energy systems. The Furukawa Battery Co., Ltd., Japan and the East Penn Manufacturing Co., Inc., USA. are under mass producing this technology for conventional automobile, HEV and renewable energy applications. The wide spread use of HEVs and renewable-energy systems, in turn, would lead to a reduction in global consumption of the limited supplies of fossil fuels and in the associated production of greenhouse-gas emission. Thus, this will provide us with a ‘low-carbon earth’.

1. Introduction

The emission of carbon dioxide from conventional automobiles and coal-fired power stations is the major contributor to global warming. The use of hybrid electric vehicles (HEVs) and renewable-energy

sources, such as wind and solar, would reduce this problem and the dependence upon the limited supplies of fossil fuels. Nevertheless, the key factor to promote the wide adaption of such technologies either in transport or in energy sectors is the energy-storage device. Thus, the high performance energy storage, particularly the storage of the electrical energy has gained greater demand than ever before.

The HEVs house an internal combustion engine (ICE), generator, electric motor and battery pack. Basically, the ICE and the battery pack generate and supply electricity to the motor to drive the wheels and the electric motor can also use the electricity from the generator and the wheels to charge the battery pack. The electricity flow between the battery pack, ICE and motor determines the type of HEV, namely, micro-, mild-, medium-, full- and plug-in-hybrid (**Table 1**). For micro-hybrid vehicles, the battery pack is required to provide electricity to start the ICE and to operate the on-board electronic devices such as, computer, sound, video and navigation systems, etc. even during the engine cut-off for a short period (e.g., vehicle stops at the traffic light). For mild- and medium-hybrid vehicles, in addition to engine start and stop, the battery is required to supply electricity for acceleration (e.g., motor assist) and to receive electricity from the motor through regenerative braking. For full- and plug-in-hybrid vehicles, the battery is further required to supply electricity for short distances of pure electric driving. The plug-in hybrid vehicle has a longer electric-driving range than the full-hybrid and it also houses an on-board charger, which can charge the battery pack when parked. Under such various demands of HEVs, the battery must be operated at different state-of-charge (SoC) windows, namely, 95-85% SoC for micro hybrid to 100-30% SoC for Plug-in hybrid. The system voltage of the HEVs increases from 12 V in the micro hybrid to over 200 V in the full and plug-in hybrid, while the battery

capacity decreases from 50-60 Ah in the micro hybrid to only 6 Ah in the full hybrid (**Table 1**). For a plug-in hybrid, the battery capacity can be between 6 and 50 Ah depending upon the requirement of pure electric-driving range and the battery housing space. The fuel savings of the HEVs increases from 5-10% in the

micro-hybrid to over 70% in the plug-in hybrid. All the different types of hybrid electric vehicles demand the battery to be discharged and charged at high rates. High-rate discharge is necessary for engine cranking and acceleration, while high-rate charge is associated with regenerative braking.

Table 1 Types of hybrid-electric vehicles and battery requirement

	Micro	Mild	Medium	Full	Plug-in
Regen. Braking		★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★
Engine stop & start	★	★	★	★	★
Motor assist		★	★	★	★
EV Drive				★	★
State-of-charge window (%)	95 – 85	95 – 80	65 – 50	70 – 30	100 – 30
Battery voltage (V)	12	36	144 – 168	> 200	> 200
Battery capacity (Ah)	50 – 70	15 – 20	6 – 8	6 – 8	30 – 50
Fuel saving (%)	5 – 10	10 – 25	45 – 55	50 – 60	> 70

Note: blank = no requirement; one star = mild requirement; two stars = medium requirement; three stars = strong requirement.

The grid-connected wind- or solar-energy systems house the wind turbine or solar panels, inverter, charger and battery bank (**Fig.1**). The application of grid-connected wind or solar energy faces two main issues, namely, high variation of wind speed or solar intensity and the intermittency of power output (power only produced when the wind blows, or sun shines). It is however that the variation of solar intensity is much quicker and stronger than that of the wind, for example, it can change from the maximum to zero level or from zero to maximum level when the clouds cover or move away from the sun, respectively. The variation of wind speed or solar intensity can add ‘noise’ to the grid, whereas the intermittency of wind

or solar power can destabilize the network. One way of dealing with such problems is to store energy generated during windy or sunny periods in the on-site batteries, to provide a smoother supply to the power grid. The bulk of the energy travels straight from the wind turbine or solar panels to the grid (see **Fig.1**). The inverter/charger is used to allow part of the noisy energy passed through the battery pack for noise filtering and produce a smoother output back to the power grid.

Thus, the battery packs used in the HEVs and wind- / solar-energy systems should have high-rate discharge and charge capabilities, long service life and low cost.

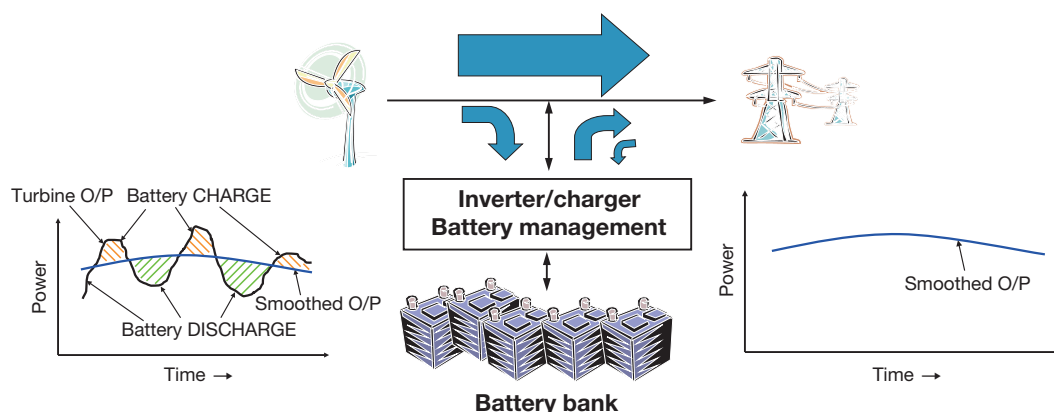


Fig.1 Grid-connected wind-energy system

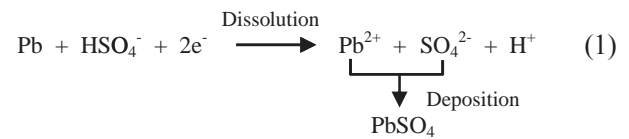
2. Energy storage systems

The candidate energy storage systems for HEV and renewable energy applications include valve-regulated lead-acid (VRLA), nickel-metal-hydride (Ni-MH) and rechargeable lithium batteries. It needs to state here that flooded-electrolyte lead-acid battery is also considered to be used in micro and mild HEVs. It is obvious that the lead-acid battery has the great advantages in terms of low initial (capital) cost, well established manufacturing base, distribution networks and high recycling efficiency (up to 97%) compared to the other competitive technologies at their current stage of development. Nevertheless, the running cost of the lead-acid battery is expensive because of the short service life. The lead-acid battery under HEV and renewable-energy applications must be operated under high-rate partial-state-of-charge (HRPSoC), namely, within a certain SoC window dependent upon the type of HEV (see, **Table 1**). This is because the battery cannot deliver the required cranking current when the SoC is below 30%. On the other hand, the battery cannot accept charge efficiently either from regenerative braking or from engine charging when the SoC is above 70%. Under such applications, the lead-acid battery fails prematurely due to the sulfation of the plates, particularly the negative plates. The negative plates suffer from a progressive build-up of ‘hard’ lead sulfate on the surface, i.e., lead sulphate, which is difficult to recharge [1-5]. The accumulation of lead sulfate markedly reduces the effective surface-area to such extent that the plate can no longer deliver and accept the power required by engine cranking, acceleration, and regenerative braking.

2.1 Mechanism of lead Sulfate accumulation in negative plates under HRPSoC duty

The mechanism of lead sulfate accumulation on the surfaces of negative plates under HRPSoC duty can be explained as follows [5,6]. The key factors responsible for such accumulation of lead sulfate are the high-rate

discharge and charge. During high-rate discharging, the sponge Pb reacts with HSO_4^- to form PbSO_4 as shown by reaction (1) and this reaction proceeds so rapidly that the diffusion rate of HSO_4^- from the bulk of the solution cannot catch up with its consumption rate in the interior of negative plate.



Moreover, high-rate discharge generates a very high supersaturation of Pb^{2+} in the vicinity of each parent lead crystal. The lead sulfate will therefore precipitate rapidly on any available surface, irrespective of whether this be sponge lead or already-deposited lead sulfate, i.e., nucleation rate > growth rate. Thus, a compact layer of tiny lead sulfate crystals will develop on the surface of the plate (**Fig.2(a)**). This will reduce the effective surface area for electron transfer and will also hinder the diffusion of HSO_4^- into the interior of the plate (note, the dense lead sulfate layer acts as a semi membrane to the movement of HSO_4^-).

During charging, the lead ion dissociated from the lead sulphate reduces to sponge lead as shown by reaction (2). Since the charging current is high, the negative-plate potential increases quickly to such extent that, given the lower level of sulfate in the plate interior, the charging current during passage from the grid member to the plate surface reduces some hydrogen ions to hydrogen gas before reaching the lead sulfate layer (**Fig.2(b)**). Thus, complete conversion of lead sulfate at the plate surface cannot be achieved. With such repetitive action of high-rate discharge and charge, the lead sulphate will accumulate on the surfaces of negative plate and, eventually, the battery will be unable to provide sufficient power for engine cranking.

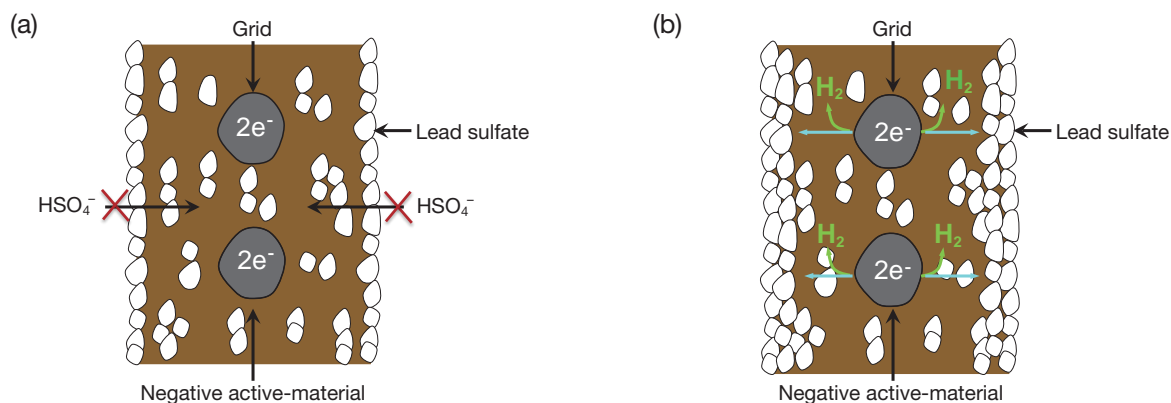
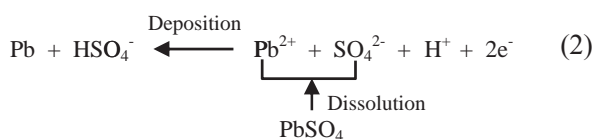


Fig. 2 Schematic representation of lead-sulfate distribution in a negative plate subjected to high-rate discharge (a) and charge (b)

From the above discussion, it is clear that in order to improve the cycleability of flooded-electrolyte and VRLA batteries under HRPSoC duty, the uneven distribution of lead sulfate across the cross-section of negative plate during discharge and concomitant the early evolution of hydrogen during charge should be minimized. The minimization of the uneven distribution of lead sulfate can be achieved when the negative plates can be protected from high-rate discharge and charge. The conventional way to improve the life of the lead-acid battery is to connect the battery pack in parallel with a supercapacitor (**Fig.3**). It is well known that a supercapacitor can provide and receive high power, but low energy and, therefore, for HEV applications, the best use of this technology is to absorb high power from regenerative braking and to provide high power for acceleration. The energy and power flow between the capacitor and battery pack are controlled by an electronic controller. In principle, during vehicle braking and acceleration, the controller will first regulate the power to and from the supercapacitor then the battery pack. During engine charging and cruise driving, the controller will

regulate the power and energy mainly to and from the battery pack. This system has been developed by the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia and has been used successfully in the Holden ECOMmodore and aXcessaustralia demonstration cars in the year 2000. Nevertheless, the drawbacks of this system is that it is complicated (e.g., requires a sophisticated algorithm) and is expensive. Accordingly, CSIRO Energy Technology has developed an advanced UltraBattery to replace the complex and high cost supercapacitor/lead-acid battery system.

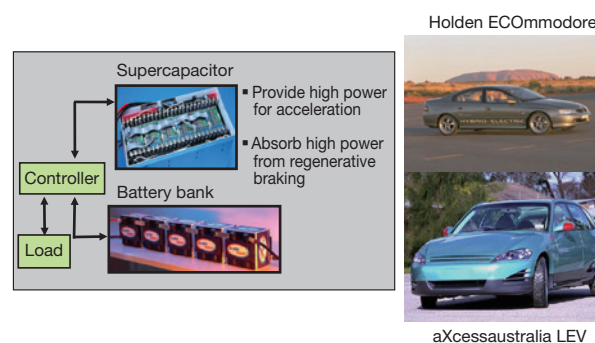


Fig.3 External connection of supercapacitor and lead-acid battery packs in Holden ECOMmodore and aXcessaustralia hybrid electric vehicles (HEVs)

2.2 UltraBattery

The UltraBattery is a hybrid energy-storage device, which combines a supercapacitor and a lead-acid battery in a single unit, without extra, expensive, electronic control [7]. A schematic configuration of the UltraBattery is shown in **Fig.4**. The lead-acid component comprises one lead-dioxide positive plate and one sponge lead negative plate. An asymmetric supercapacitor is formed when the lead negative plate of the lead-acid cell is replaced by a carbon-based counterpart (i.e., capacitor electrode). Since the positive plates in the lead-acid cell and the asymmetric supercapacitor have a common composition, they can be integrated into one unit cell by internally connecting the negative plate of the battery and the supercapacitor in parallel. With this design, the total current of the combined negative plate is composed of two components, namely the capacitor current and the lead-acid negative plate current. Accordingly, the capacitor electrode can now act as a buffer to share the currents with the lead-acid negative plate and thus prevent it being discharged and charged at the full rates required by the HEV duty. In addition, The UltraBattery is able to be produced as either flooded-electrolyte or valve-regulated designs in the existing lead-acid factory and also able to reconfigure for a variety of applications, for example, conventional automobile, power tool, forklift, high-power uninterruptible power supply and remote-area power supply.

The UltraBattery technology is invented by the CSIRO in 2003 and has been licensed to The Furukawa Battery Co., Ltd., Japan in 2005. Since then, CSIRO and the Furukawa Battery have been cooperating in R&D activity, manufacturing and marketing of UltraBattery. The results from the comparative tests in the CSIRO laboratories demonstrated that the UltraBattery has greater discharge / charge power and significantly longer

cycle-life than that of a conventional lead-acid counterpart. Therefore, this promising technology was soon recognized by a Victorian company, Cleantech Ventures Pty Ltd. Accordingly, Cleantech Ventures and CSIRO jointly formed a company, Ecoul Pty Ltd to commercialize the UltraBattery-based storage solution for renewable-energy applications. In 2008, CSIRO and the Furukawa Battery sublicensed the UltraBattery technology to East Penn Manufacturing Co., Inc., USA. This company subsequently acquired Ecoul in 2010. Consequently, Ecoul can utilize its right toward the UltraBattery technology, intelligent energy management system developed by CSIRO and its own development intellectual property, to provide complete energy storage solutions and modules that are ready for custom integration. At present, the Furukawa Battery and the East Penn Manufacturing can produce UltraBatteries in large scale and with different sizes (from 7 Ah to 2000 Ah) as a trademark of ‘UltraBattery™’ for conventional automobile, HEV and renewable-energy applications.

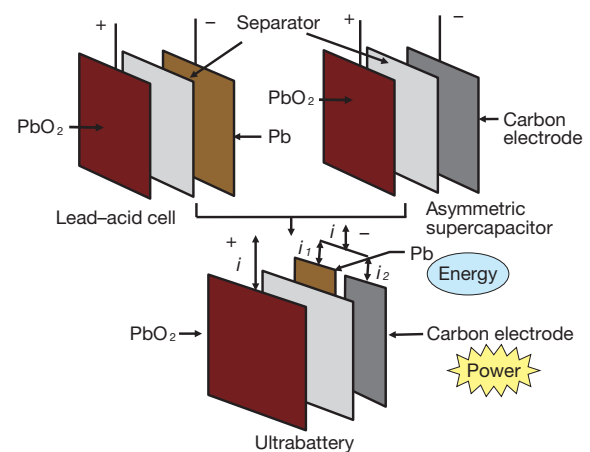


Fig. 4 Schematic diagram of UltraBattery configuration

3. Performance of UltraBattery under HEV applications

As mentioned above, the UltraBattery is derived from the lead-acid origin and consequently, is left with heavy weight and low energy. Thus, this technology is considered more suitable for micro-, mild- and

medium-hybrid applications. This is because the full- and plug-in hybrid vehicles demand the high-energy battery packs for its pure electric-driving requirement and have limited space for battery storage. Accordingly, several UltraBatteries were prepared initially for laboratory evaluation using profiles to simulate the driving conditions of micro- to medium-hybrid vehicles and subsequently for field trials.

The initial performance of valve-regulated UltraBatteries ($C = 7$ Ah and $C_5 = 9$ Ah) produced from the Furukawa Battery Company is shown **Table 2**. According to the US FreedomCAR protocol, the discharge and charge power are 25 and 20 kW set for the minimum power-assist system and 40 and 35 kW set for the maximum power-assist system, respectively [8]. Results shown in **Table 2** reveal that with the integration of the supercapacitor, the operational range of UltraBattery is increased from 70-30% SoC for a VRLA battery to 80 to 30% SoC and the battery still

meets or exceeds the discharge and charge power required by the minimum and maximum power-assist systems [9,10]. UltraBattery technology has also met or exceeded the targets set for available energy, cold cranking and self-discharge required by the minimum and maximum power-assist systems. For self-discharge evaluation, it has been found that after standing under 30°C at open-circuit for 7 days, the UltraBattery shows an energy gain, not energy loss even though the test has been repeated three times (see **Table 2**, plus sign shows energy gain, while minus sign indicates energy loss). Therefore, the test was performed again by allowing the battery to stand at an open-circuit condition for 23 days and under 40°C. With this procedure, the UltraBattery shows a slight energy loss of -7.42 Wh per day for the minimum power assist system and -12.37 Wh per day for the maximum power assist system. These values are well below the self-discharge goal set (i.e., -50 Wh per day) for both power-assist systems.

Table 2 Initial performance of UltraBattery and US freedom car goals for power-assist batteries

Characteristics	Units	Minimum power assist	Maximum power assist
Pulse discharge power (10 s)	kW	25	40
Regenerative pulse power (10 s)	kW	20	35
Operating state-of-charge window	%	80 to 30	80 to 30
Available energy	Wh	940 (goal = 300)	1500 (goal = 500)
Cold-cranking	kW	5.4 (1 st), 5.2 (2 nd), 5.1 (3 rd) (goal = 5)	10.5 (1 st), 11.3 (2 nd), 11.3 (3 rd) (goal = 7)
Self-discharge at 30°C	Wh / day	+3.90 (1 st), +6.38 (2 nd), +4.28 (3 rd) (goal = -50)	+6.51 (1 st), +10.64 (2 nd), +7.14 (3 rd) (goal = -50)
Self-discharge at 40°C		-7.42	-12.37

High dynamic charge acceptance (DCA) of the battery, which is capability of battery to accept charge under different temperatures and operational conditions, is one of the major requirements by the HEVs, particularly the micro-HEV. This is because the battery in the micro hybrid operates at the high SoC window, e.g., 95-85%. Accordingly, the dynamic charge acceptance of UltraBattery is also evaluated. The test procedure is as follow [11]. After conditioning

the 5-h capacity a few cycles, the battery is discharged at the 5-h rate to 90% SoC and allowed to stand at open-circuit voltage (OCV) for a given period. The battery is then charged at a constant voltage of 14.8 V with maximum current of 100 A for 60 seconds. After that, the battery is discharged to 90% SoC and subjected to the test again, but with longer rest period. This discharge and charge process is repeated for a set of different rest periods until the total rest time is over

one week. The DCA test is also conducted at different SoCs, namely, 80, 70 and 60%. For comparison purpose, the flooded-electrolyte and VRLA commercial batteries are also included in this test. Results show that, as expected, the charge-acceptance current of a battery increases when the SoC of the battery decreases. Furthermore, at a given SoC, the charge-acceptance current decreases with the increase of rest time. In addition, the valve-regulated UltraBattery (5-h capacity = 9 Ah) gives higher DCA than that of the commercial counterparts under different SoC. An example of the changes in the 10-s, charge-acceptance currents of UltraBattery and commercial batteries at 90% SoC are given in **Fig.5**. It can be seen that the UltraBattery gives higher charge-acceptance current than that of the commercial batteries, namely about 1.8 times, throughout the test.

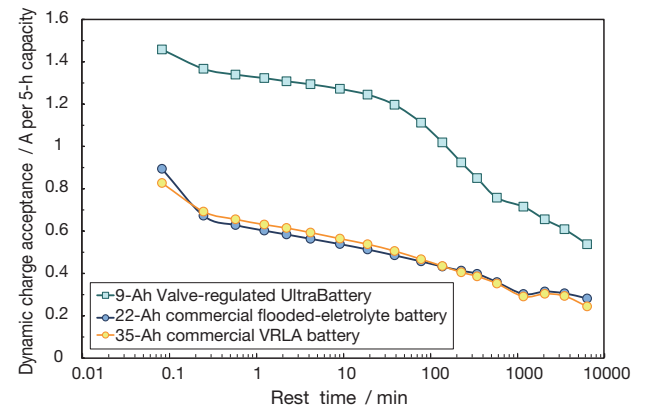


Fig.5 Dynamic charge acceptance of UltraBattery and commercial batteries at 90% SoC

The cycling performance of UltraBattery is given in **Table 3** [9,10,12]. Clearly, the UltraBatteries show significant longer cycling performance than the control lead-acid batteries. More importantly, side-by-side testing has demonstrated that the UltraBattery cycle life is comparable, or superior, to that of Ni-MH cells.

Table 3 Cycling performance of UltraBatteries

Test profiles	Units	Battery types		
		Control VRLA battery	Ni-MH cell	UltraBattery
Simplified discharge and charge profile at 3 C rate (ToCV = 2.5 V; CoV = 1.75 V, micro HEV simulation)	cycles	11,000 – 13,000	72,000	75,000
Simplified discharge and charge profile at 2 C rate (ToCV = 2.83 V; CoV = 1.83 V, micro HEV simulation)	cycles	4,200	—	18,000
Idling-stop cycle-life test (SBA-S-0101, micro HEV simulation)	cycles	15,000	—	75,000
42-V profile (mild HEV simulation)	cycles	17,500	—	165,000
EUCAR profile (medium HEV simulation)	cycles	34,000 – 72,000	180,000	340,000 220,000
RHOLAB profile (medium HEV simulation)	cycles	150 – 180	—	750 – 1,100

The UltraBattery packs, either produced by the Furukawa Battery or the East Penn Manufacturing, have been subjected to the field trials in: (i) an ALABC *Honda Insight* HEV at Millbrook, UK (2007) [13,14]; (ii) an ALABC *Honda Civic* HEV at Phoenix, Arizona, USA (2010) and (iii) an EPM *Honda Civic* HEV at Lyon Station, Pennsylvania, USA (2010). The photographs of the three HEVs are shown in **Fig.6**. The field trials of *Honda Insight* at Millbrook and *Honda Civic* at Phoenix are funded and supported by

the Advanced Lead Acid Consortium (ALABC). Both HEVs has run for 100,000 miles with no conditioning and the batteries remained in an excellent state throughout. On the other hand, the EPM *Honda Civic* HEV is till on test and has done over 100,000 miles. During field trial, the UltraBatteries demonstrate very good acceptance of the charge from regenerative braking even at high state-of-charge, e.g., 70%. The changes in pack voltage, current and individual battery voltages at a given time of vehicle driving are shown

in **Figs.7 and 8**. The variation (i.e., difference between the maximum and minimum values) between each battery voltage is within 0.3 V. This indicates that with the integration of supercapacitor, the individual battery voltages are maintained at a well balance state during vehicle operation. The *Honda Insight* HEV powered by UltraBatteries gives slightly higher fuel consumption (cf., 4.16 with 4.05 L/100 km) and CO₂ emissions (cf., 98.8 with 96 g/km) compared with that by Ni-MH cells. Similar results are also obtained for *Honda Civic* HEVs. Importantly, there are no differences in driving experience between the HEVs powered by UltraBatteries and by Ni-MH cells. The UltraBattery pack costs considerably less, approximately only 20-40% to that of the Ni-MH pack. Thus, it is expected that the incremental cost of the HEV powered by Ni-MH over the comparable conventional vehicle would be higher than that of the HEV powered by UltraBattery. Consequently, the payback time of UltraBattery HEV will be quicker than that of Ni-MH HEV [8]. The HEVs powered by the UltraBattery packs have been displayed at different motor shows (e.g., the Geneva and Yokohama Motor Shows, etc.) and Conferences (e.g., European Lead Battery and Advanced Automotive Battery Conferences, etc.) and have been well accepted by the attendee. The 12-V flooded-electrolyte UltraBatteries produced by the Furukawa Battery are also subjected to test driving in the idling stop / start taxi fleet in Tokyo, Japan [13]. The results show that the improved flooded lead-acid batteries achieved 80,000 to 90,000 km before failure. On the other hand, the UltraBatteries achieved 122,000 to 132,000 km, which exceeds the minimum target distance of 100,000 km set by the vehicle manufacturer. Currently, The Furukawa Battery Company has several projects with major automotive companies in field trials of UltraBatteries for micro-HEV application.



Fig.6 Photographs of HEVs used for field trial of UltraBatteries

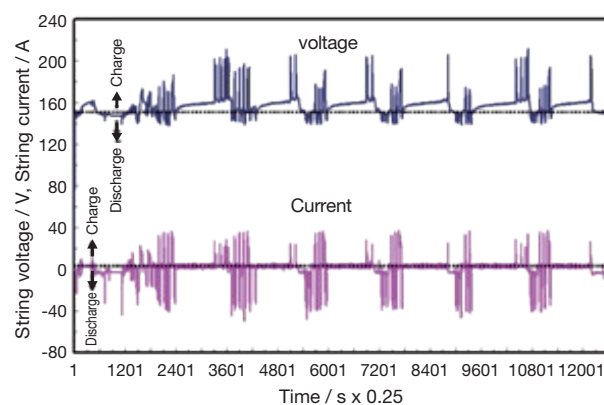


Fig.7 Changes in battery pack voltage and current during endurance test driving of the *Honda Insight* HEV

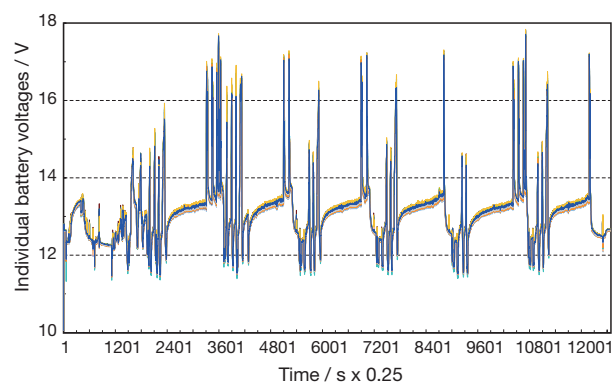


Fig.8 Changes in individual UltraBattery voltages during endurance test driving of the *Honda Insight* HEV

4. Performance of UltraBattery under wind- and solar-energy applications

The UltraBattery might also provide an effective means for the storage of wind or solar energy. The lead-acid battery component would allow the unit to store a large amount of energy, whereas the capacitor component would serve to level the noisy wind or solar variation without affecting performance. Furthermore, a combination of such technology with weather forecasting and smarter grid management would balance the peaks and trough of wind- or solar-derived electricity at the point of generation and reduce the size of the energy-storage facility. For example, if the forecast indicates that the wind or solar will reduce after few hours, then the smarter grid management system will regulate more energy from wind turbine or solar panels to charge the battery pack to a high SoC level. Accordingly, the battery pack can provide energy to the grid in the subsequent no-wind or no-solar period for sufficient duration (about 15 to 30 min) to enable the start-up of additional power station. With this operational design, the battery cost can be lowered substantially since the energy-storage element constitutes a significant part of the cost of the whole system.

The UltraBattery has proven to be a successful candidate energy storage device for HEV applications. Now, it would be of interest to examine the performance of UltraBattery under wind-energy storage applications. The 1000-Ah, VRLA battery and UltraBattery produced by the Furukawa Battery are prepared and subjected to the test profile simulated the wind-energy storage applications. The test profile is shown in **Fig.9**. This profile is part of the complicated wind-energy output and has the highest occurring frequency. The profile was superimposed on the constant discharge current and charge current of 100 A, which is the 10-h rate of the battery. After conditioning the battery for few 10-h capacity tests,

the battery is discharged at 10-h rate (i.e., 100 A) to 70% SoC and then subjected to the above profile for 486 sub-cycles during the discharge loop and 486 sub-cycles during the charge loop. This will reduce the SoC of the battery from 70 to 30% during discharge and will increase back to 70% SoC during charging. The summation of 486 discharge sub-cycle and 486 charge sub-cycles is considered as 1 cycle. After repeating the test for 72 times (i.e., 72 cycles), the 10-h capacity of the battery is evaluated. The wind cycling test is repeated until the measured 10-h capacity of the battery reaches 50% of the initial value or until the battery voltage reach 0.50 V during wind cycling. The cycling performance of a conventional battery and an UltraBattery under the simulated wind-energy test is shown in **Fig.10**. The conventional battery failed after 1,512 cycles with the cumulative discharge and charge capacity of 1,297,735 Ah. On the other hand, the UltraBattery achieved 3,168 cycles with the cumulative discharge capacity of 2,805,898 Ah, which is over 2 times greater than that of the conventional counterpart. It needs to note here that the failure of the UltraBatteries under either HEV or wind-energy simulation test are mainly due to the positive plate. After cycling, the positive plate suffers by severe material shedding, sulfation and grid corrosion.

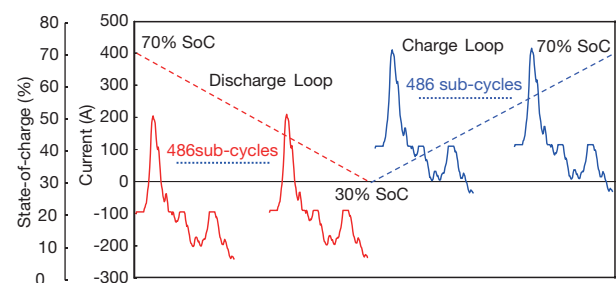


Fig.9 A simulated wind-energy test profile

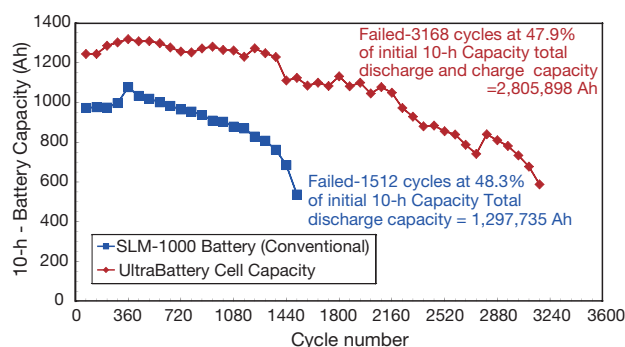


Fig.10 Cycling performance of conventional battery and UltraBattery under simulated wind-energy application

At present, the Furukawa Battery has conducted several field-trial projects of UltraBatteries in different applications, namely smart building, smart grid, load leveling, wind and solar power (**Table 4**). The systems, which include UltraBatteries and battery management, are produced at the Furukawa factories [15]. At present, each system still operates smoothly without any problems. An example of load-leveling

systems at Kitakyushu Museum of Natural History & Human History is shown in **Fig.11**.

In parallel, East Penn Manufacturing (www.dekabatteries.com) and its subsidiary, Ecoult (www.ecoult.com) have installed: (i) 1-MWh UltraBattery pack for wind smoothing at Hampton wind farm, NSW, Australia; (ii) 1-MWh UltraBattery pack for solar smoothing at New Mexico, USA and (iii) 3-MWh UltraBattery pack for regulation service at Lyon Station, Pennsylvania, USA. In addition, Ecoult has been awarded the Hydro Tasmania contract to supply a 3-MW / 1.6-MWh UltraBattery storage system in Australia for the King Island Renewable Energy Integration Project on 31 October 2012. The storage system will have capability to power the entire island for up to 45 min. An example of solar-smoothing system at New Mexico, USA is shown in **Fig. 12**.

Table 4 Demonstration of UltraBattery under smart grid and renewable applications

Location	Battery size	Number of battery	Application
Shimizu Corporation	500 Ah, 2-V	163	Smart building
Furukawa Battery (Harigai factory)	200 Ah, 2-V	24	Wind power
Sinfonia Technology Co., Ltd	500 Ah, 2-V	24	Small-scale smart grid
Sinfonia Technology Co., Ltd	50 Ah, 12-V	4	Wind power
Human Media Creation Center / KYUSHU	100 Ah, 6-V	32	Load leveling, Wind power
Kitakyushu Museum of Natural History & Human History	100 Ah, 6-V	32	PV, Load leveling
Kitakyushu Museum of Natural History & Human History	500 Ah, 2-V	192	PV, Load leveling
Maeda area in Kitakyushu	1000 Ah, 2-V	336	Load leveling (CEMS)
Furukawa Battery (Iwaki factory)	1000 Ah, 2-V	192	Load leveling

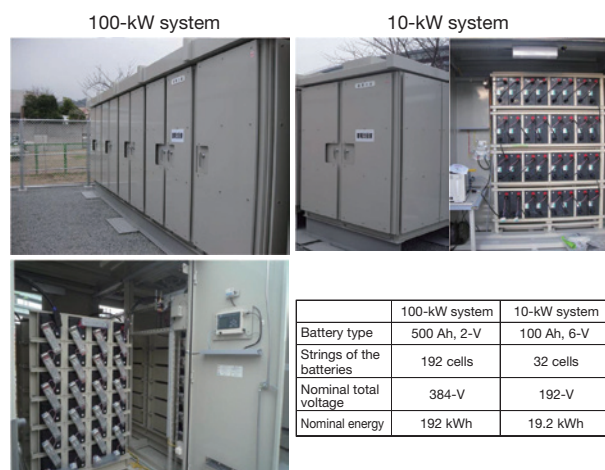


Fig.11 UltraBattery system for Photo-voltage load leveling projects at Kitakyushu Museum of Natural History & Human History



Fig.12 1-MWh UltraBattery system for wind smoothing at New Mexico, USA

5. Conclusion

The CSIRO UltraBattery technology is a hybrid energy-storage device, which combines an asymmetric supercapacitor and a lead-acid battery in one unit cell, taking the best from both technologies without the need for extra electronic controls. With such combination, the UltraBattery gives significantly long life in the laboratory evaluation using different test profiles simulated the driving conditions of micro-, mild- and medium-HEVs as well as the grid-connected wind energy systems. Furthermore, this advanced battery has also been proven successfully when subjected to field trials: (i) in the stop / start taxes, *Honda Insight* and *Honda Civic* medium HEVs and (ii) in large number of renewable projects, namely, smart building, smart grid, regulation service, wind- and solar-power smoothing. Clearly, the UltraBattery is a step-change technology that will boost the performance and reduce the cost of batteries in HEVs and renewable-energy systems. This advanced battery has the following features and benefits.

- ▶ Greater power and significant improvement in service life.
- ▶ Able to produce in the existing lead-acid factory with different sizes (from few Ah to few thousand Ah).
- ▶ Reconfigurable for a variety of applications (i.e., power tool, high-power uninterruptible power supply, HEV and renewable energy).
- ▶ High recycle-efficiency (up to 97%)
- ▶ Low cost

At present, the Furukawa Battery Co., Ltd., Japan and the East Penn Manufacturing Co., Inc., USA are mass producing the UltraBattery™ for conventional automobile, HEV and renewable-energy applications.

References

1. L.T. Lam, C.G. Phyland, D.A.J. Rand, A.J. Urban, ALABC Project C2.0. *Novel Technique to Ensure Battery Reliability in 42-V PowerNets for New-generation Automobiles*. Progress Report: August 2001-January 2002. CSIRO Energy Technology, Investigation Report ET/IR480R, March 2002, 19 pp.
2. L.T. Lam, N.P. Haigh, C.G. Phyland, D.A.J. Rand, A.J. Urban, ALABC Project C 2.0. *Novel Technique to Ensure Battery Reliability in 42-V PowerNets for New-generation Automobiles*. Final Report: August 2001-November 2002. CSIRO Energy Technology, Investigation Report ET/IR561R, December 2002, 39 pp.
3. L.T. Lam, N.P. Haigh, C.G. Phyland, T.D. Huynh, D.A.J. Rand, ALABC Project C 2.0. *Novel Technique to Ensure Battery Reliability in 42-V PowerNets for New-generation Automobiles*. Extended Report: January-April 2003. CSIRO Energy Technology, Investigation Report ET/IR604R, May 2003, 23 pp.
4. A.F. Hollenkamp, W.G.A. Balasing, S. Lau, O.V. Lim, R.H. Newnham, D.A.J. Rand, J.M. Rosalie, D.G. Vella, L.H. Vu, ALABC Project N1.2. *Overcoming Negative-plate Capacity Loss in VRLA Batteries Cycled Under Partial State-of-charge Duty*. Final Report: July 2000-June 2002. CSIRO Energy Technology, Investigation Report ET/IR491R, June 2002, 47 pp.
5. L.T. Lam, N.P. Haigh, C.G. Phyland, A.J. Urban, *J. Power Sources*, 133 (2004) 126-134.
6. L.T. Lam, N.P. Haigh, C.G. Phyland, T.D. Huynh, *J. Power Sources*, 144 (2005) 552-559.
7. L.T. Lam, R. Louey, *J. Power Sources*, 158 (2006) 1140-1148.
8. US FreedomCAR Battery Test Manual DOE/ID-11069, October 2003.
9. L.T. Lam, R. Louey, N.P. Haigh, O.V. Lim, D.G. Vella, C.G. Phyland, L.H. Vu, ALABC Project DP 1.1. Production and test of hybrid VRLA UltraBattery™ designed specifically for high-rate partial-state-of-charge operation. *Final Report: August 2006-April 2007*. CSIRO Energy Technology, Investigation Report ET/IR967R, April 2007, 38 pp.
10. L.T. Lam, R. Louey, N.P. Haigh, O.V. Lim, D.G. Vella, C.G. Phyland, L.H. Vu, J. Furukawa, T. Takada, D. Monma, T. Kano, *J. Power Sources* 174 (2007) 16-29.
11. S. Schaeck, A.O. Stoermer, F. Kaiser, L. Koehler, J. Albers, H. Kabza, *J. Power Sources* 196 (2011) 1541-1554.
12. J. Furukawa, T. Takada, T. Mangahara, L.T. Lam, *ECS Transaction* 16(34) 27-34 (2009).
13. L. T. Lam, J. Furukawa, M. Kellaway, 12th Asian Battery Conference (2007) Shanghai.
14. A. Cooper, M. Kellaway, L. T. Lam, J. Furukawa, B. Wahlqvist, 8th Int. Advanced Automotive Battery and Ultracapacitor Conference (2008) Tampa.
15. H. Yoshida, M. Miura, W. Tezuka, J. Furukawa, L.T. Lam, The UltraBattery for smart-grid applications, 13th European Lead Battery Conference, Paris, France, 26-28 September 2012.

マイクロハイブリッド車用液式 UltraBattery の実車評価

Field Trial of the Flooded-type UltraBattery for Micro-HEV Application

川口 祐太郎 ^{*1}
Yutaro Kawaguchi

廣部 浩史 ^{*2}
Kouji Hirobe

清水 博文 ^{*3}
Hirofumi Shimizu

Abstract

The flooded-type UltraBattery, which combine an asymmetric capacitor and a lead-acid battery in one unit cell, showed a good charge acceptance and superior fuel consumption in field trial on TOYOTA Vitz and HONDA STEP WGN. Further more, the flooded-type UltraBatteries showed longer cycle life than improved flooded battery in field trial on the idling start/stop taxi. The flooded-type UltraBattery is expected to be the most suitable electrical power source for the micro-HEVs because of excellent charge acceptability and durability compared with the improved flooded battery.

1. はじめに

近年、地球温暖化対策の1つとして、温室効果ガスの抑制や自動車の燃費改善が重要課題となっている。欧州では2012年には自動車単体でのCO₂排出量130g/km以下とする規制が設定されており、更に2020年には95g/km以下とする案が議論されている。日本では2015年度の燃費目標値を16.8km/Lとしており、更に2020年には燃費目標値を20.3km/Lとする案が検討されている¹⁾。

このような背景の中で、自動車メーカーはCO₂排出量抑制及び燃費改善を目的としてハイブリッド車を次々と市場に投入している。その中でもマイクロハイブリッドと呼ばれるアイドリングストップ機能(ISS)に加え、制動エネルギー回生による充電機能を備えた車両が急速に普及してきている。マイクロハイブリッド車はトヨタ・プリウスに代表されるストロングハイブリッド車に比べ、CO₂削減効果や燃費改善効果は少ないものの、複雑なシステムが不要で使用する電池も鉛蓄電池であることなど、追加コストが少ない特徴を有する。

しかし、アイドリングストップ中はオルタネータによる発電が行われないため、その間の電気負荷はすべて電池から供給することになる。更にエンジン始動回数も従来車に比べて多くなる。一方で、回生ブレーキによる充電を効率良く受け入れるために電池の充電受入性も重要になるため、電池にはPSOC (Partial State of Charge ; 部分充電状態) 環境下での高い耐久性と充電受入性が求められる。

そこで当社は、同一セル内に鉛蓄電池と非対称キャパシタを組み込んだUltraBatteryを商品化し、2013年4月から販売を開始した。図1にUltraBatteryの構成を、図2にUltraBatteryの外観を示す。この電池は従来のSLI用鉛蓄電池では難しいとされたPSOCと大電流パルス充放電が組み合わせられた過酷な条件での使用が可能である^{2)~5)}。

前回の報告⁶⁾で、マイクロハイブリッド車用試験として規格化が検討されているDCA寿命試験において優れた耐久性を示すこと、更に試験車両による実車試験において優れた充電受入性を示すことを報告した。

そこで、本報ではマイクロハイブリッド車を用いた燃費試験結果及びISSタクシー実車における耐久試験結果について報告する。

^{*1} 経営戦略企画室 UB事業化部

^{*2} 技術開発本部 評価センター

^{*3} 自動車生産統括部 技術部 技術第二グループ

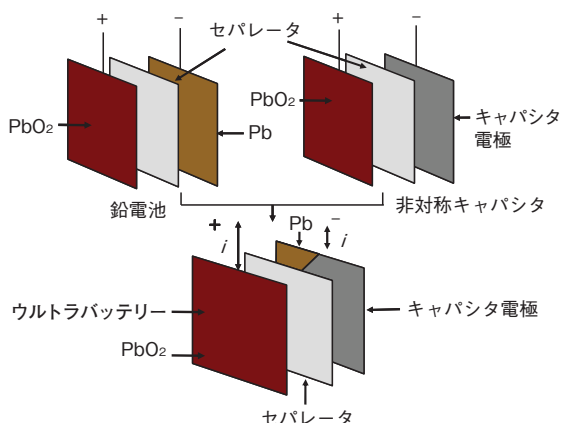


図1 UltraBatteryの構成
Fig.1 Construction of UltraBattery



図3 試験車両外観
Fig.3 Appearance of test vehicle



図2 ECHNO IS UltraBattery 外観
Fig.2 Appearance of ECHNO IS UltraBattery

2. マイクロハイブリッド車用 UltraBattery の実車試験

2.1 トヨタ・ヴィッツによる実車試験

実車による燃費測定を行うため、アイドリングストップ機構を備えたトヨタ・ヴィッツ（図3）にQ-85サイズの液式UltraBattery及び比較用としてISS車用改良液式鉛電池（IFB）を搭載し、走行試験を実施した。燃費測定には純正燃費計を用い、走行中の電池電圧・電流などの測定にはMIDTRONICS社製データロガー・IDR-10を使用した。また、走行中の電気負荷としてヘッドライト点灯、オーディオ再生、車内送風を行った。

試験手順を表1に示す。SOCを100%に調整した電池を車両に搭載し、5分間の暖機運転後に当社敷地内にて走行30秒、停止60秒を交互にそれぞれ20回ずつ繰り返す走行試験を実施した。その際のアイドリングストップ（IS）可能であった時間と試験終了直後の燃料消費率を記録した。この走行はいわゆる「チョイ乗り」と呼ばれる短時間・短距離走行を模擬した試験であり、この条件におけるUltraBatteryの優位差を調査した。

次いで、上記の試験後に約27kmの一般道走行と駐車場内にて上記と同様の走行試験を交互に1日4回実施する繰り返す走行試験を行い、走行ごとにIS時間と燃料消費率を測定した。なお、一般道走行については交通状況が走行毎に変化するため、燃料消費率とIS時間の測定は行わなかった。

これらの試験を連続5日間実施し、走行前後に電池の電解液比重を測定することでSOCの変化をチェックした。

表1 試験手順
Table 1 Trial procedure

	試験手順	走行パターン
1	暖機運転（5 min）	
2	走行30秒、停止60秒を20回繰り返す（燃料消費率、IS時間記録）	「チョイ乗り」走行試験
3	約27kmの一般道走行	繰り返す走行試験
4	走行30秒、停止60秒を20回繰り返す（燃料消費率、IS時間記録）	
5	3～4を1日4回繰り返す	

図4に各走行日のチョイ乗り走行試験時のIS時間及び燃料消費率を示す。走行3日目までは各電池共大きな差は見られないが、4日目以降にUltraBatteryのIS時間が増加し、燃料消費率が向上していることが分かる。5日間平均で比較すると、IFBはIS時間:570秒、燃料消費率:5.52km/Lであったのに対してUltraBatteryはIS時間:614秒、燃料消費率:5.68km/Lとなり、UltraBatteryはIS時間で約7.7%、燃料消費率で2.9%の優位差を示す結果となった。

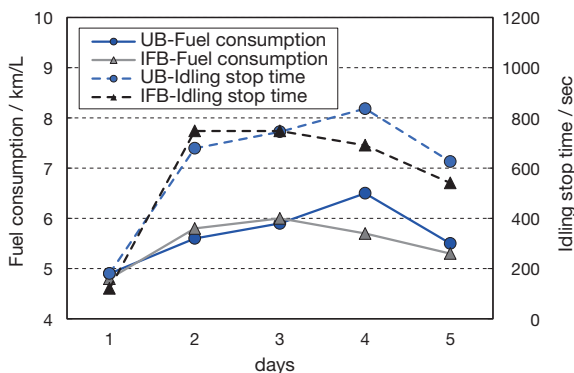


図4 チョイ乗り走行試験時のIS時間及び燃料消費率
 Fig.4 Fuel consumption rate and idling stop time under the short-range/short time driving condition

図5に各走行日の繰り返し走行試験時のIS時間及び燃料消費率を示す。UltraBatteryは走行3日目、4日目にIS時間、燃料消費率共に大きく向上していることが分かる。なお、IFBは3日目、UltraBatteryは5日目にIS時間及び燃料消費率が悪化しているが、これは電池のSOC低下を車両側が検知し、電池保護のためIS機能停止及び電池への充電を行ったものと考えられる。5日間平均で比較すると、IFBはIS時間:988秒、燃料消費率:10.10km/Lであったのに対してUltraBatteryはIS時間:1037秒、燃料消費率:10.60km/Lとなり、UltraBatteryはIS時間で約5.0%、燃料消費率で5.0%の優位差を示す結果となった。

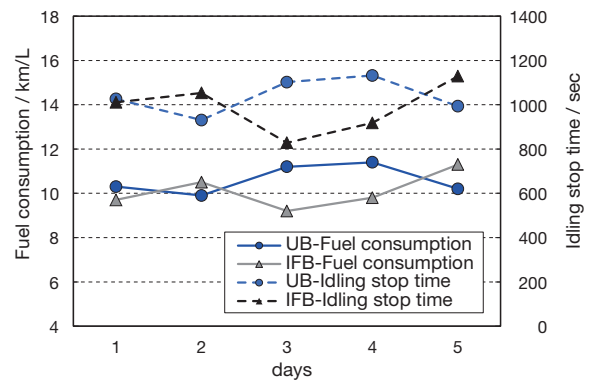


図5 繰り返し試験時のIS時間及び燃料消費率
 Fig.5 Fuel Consumption rate and idling stop time under the cycle driving condition

図6に走行中の電池SOCの推移を示す。UltraBattery、IFB共に走行を重ねるごとにSOCが低下しているが、IFBは低下が大きく、特に走行2日目で急激に低下していることが分かる。また、走行3日目、4日目はSOCが上昇しているが、これは電池保護のためにIS機能を停止したためと考えられ、前述の燃費試験結果とも一致する。それに対し、UltraBatteryはIFBよりも優れたIS時間、燃料消費率を示したにも関わらず、SOCの低下が小さい傾向が見られており、充電受入性が良好であることが分かる。

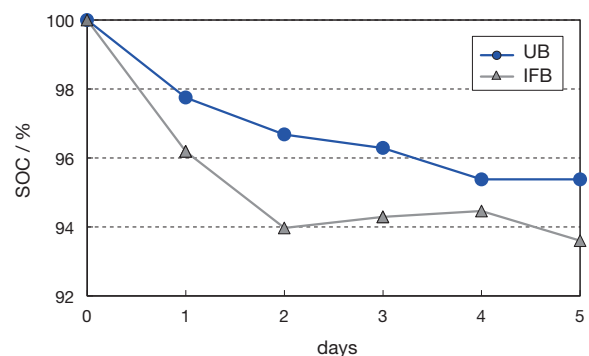


図6 電池SOCの推移
 Fig.6 Behavior of SOC

図7に走行中の累積電気量の推移を示す。走行開始直後は大きな差は見られないが、走行2日目後半からUltraBatteryは累積電気量が増加していることが分かる。前述のSOC推移と関連付けて考察すると、UltraBatteryはSOCが低下してきた際により

優れた充電受入性を示し、それによって走行中及びブレーキ回生時に効率の良い充電が可能となり、その結果、優れたIS時間、燃料消費率を示したものと考えられる。

以上のように、トヨタ・ヴィッツによる実車試験においてUltraBatteryは優れた充電受入性及び燃費改善効果を示した。

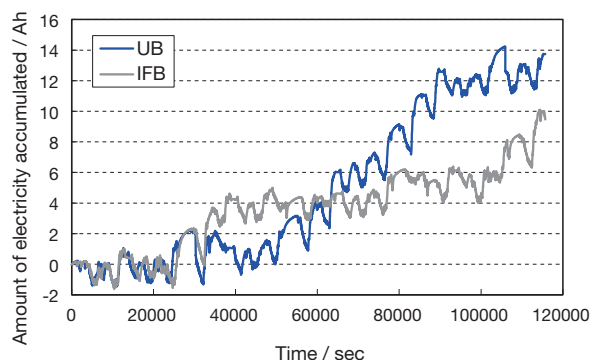


図7 電池の累積電気量
Fig.7 Amount of electricity accumulated of battery

2.2 ホンダ・ステップワゴンによる実車試験

前述のトヨタ・ヴィッツによる実車試験において、UltraBatteryは優れた充電受入性及び燃費改善効果を示したが、車両の制御方法や電池サイズが変わっても同様の効果がみられるのか検証するため、N-55サイズの液式UltraBattery及びIFBをホンダ・ステップワゴン(図8)に搭載し、実車試験を行った。



図8 試験車両外観
Fig.8 Appearance of test vehicle

試験方法や走行パターン等はヴィッツ実車試験と同様としたが、本試験時は外気温が非常に低く、暖機運転が十分でないとISが作動しない現象がみられた。特に試験日の最初に行うチョイ乗り走行は外気温の影響を強く受けてしまうため、本試験ではチョイ乗り走行試験は行わず、一般道走行により暖機及びIS可否を確認した後、繰り返し走行試験を実施した。

図9に各走行日の繰り返し走行試験時のIS時間及び燃料消費率を示す。IFBは走行3日目にIS時間が短くなり、燃料消費率も悪くなっていることが確認できるが、UltraBatteryは大きな性能低下が見られず、全走行日においてIFBよりもIS時間及び燃料消費率が良好であることが分かる。5日間平均で比較すると、IFBはIS時間：987秒、燃料消費率：7.02km/Lであったのに対してUltraBatteryはIS時間：1020秒、燃料消費率：7.40km/Lとなり、UltraBatteryはIS時間で約3.3%、燃料消費率で5.4%の優位差を示す結果となった。

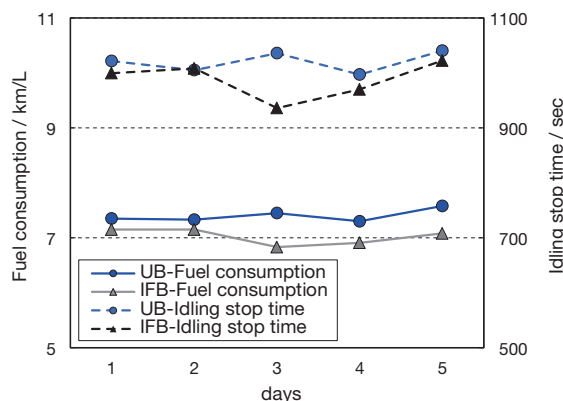


図9 繰り返し試験時のIS時間及び燃料消費率
Fig.9 Fuel consumption rate and idling stop time under the cycle driving condition

図10に走行中の電池SOCの推移を示す。UltraBattery、IFB共に走行を重ねるごとにSOCが低下しているが、特にIFBのSOC低下が大きく、5日目終了時点でSOC90%付近まで低下していることが分かる。それに対し、UltraBatteryはSOCの低下が小さいことから、充電受入性が良好であると言える。

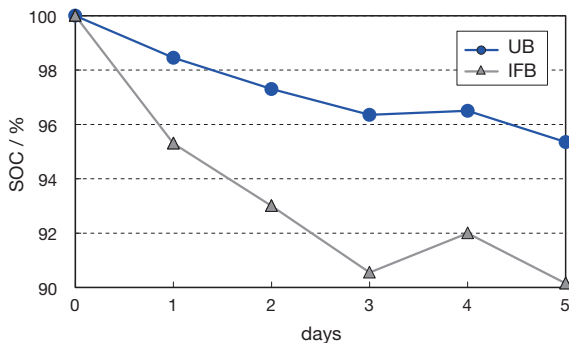


図10 電池SOCの推移
Fig.10 Behavior of SOC

図11に走行中の累積電気量の推移を示す。試験開始直後からUltraBattery、IFB共に放電側に推移していることが確認できる。これは電池が充電不足の状態で使用されたことを意味しており、電池にとって厳しい環境で使われていることが分かる。しかし、UltraBatteryは走行2日目から累積電気量が増加しており、その後もIFBよりも高い状態を維持していることが分かる。このことから、より低いSOCで使用される環境下においてもUltraBatteryは優れた充電受入性を示すことが分かった。

以上のように、ホンダ・ステップワゴンによる実車試験においてUltraBatteryは優れた充電受入性及び燃費改善効果を示した。また、これら実車試験結果から、UltraBatteryは異なる車種・電池サイズにおいても優れた充電受入性、燃費改善効果を示すことが明らかとなった。

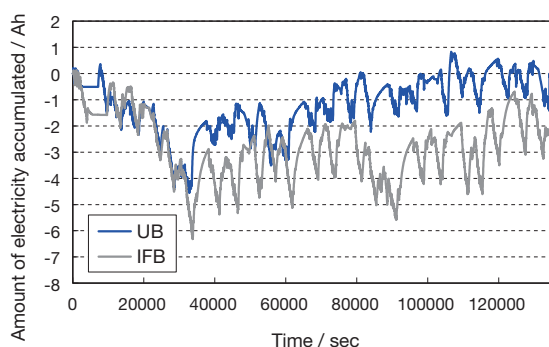


図11 電池の累積電気量
Fig.11 Amount of electricity accumulated of battery

2.3 ISSタクシー実車試験

次に、実車による耐久試験を実施するため、アイドリングストップ機能を備えたタクシーにS-95サイズの液式UltraBattery及びIFBを搭載し、電池が寿命に至るまでの期間と車両の走行距離を調査した。なお、本試験は車種や走行条件の異なるタクシー会社2社にて実施した。

図12にA社における搭載年数と走行距離の関係を示す。車両により若干のばらつきがあるものの、UltraBatteryの耐久性の優位差が見られる結果となった。IFBは平均16ヶ月で寿命になったのに対し、UltraBatteryは平均18.6ヶ月と約1.2倍の寿命を示した。

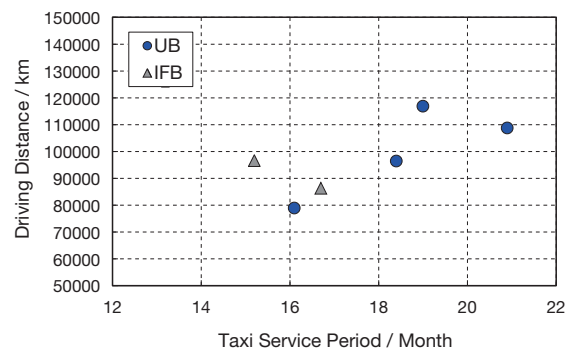


図12 A社における搭載年数と走行距離の関係
Fig.12 Taxi service period and driving distance in taxi company A

図13にB社における搭載年数と走行距離の関係を示す。IFBは平均9.1ヶ月で寿命になったのに対し、UltraBatteryは平均15.9ヶ月と約1.7倍以上の寿命を示し、A社に比べIFBに対するUltraBatteryの優位性がより顕著に見られる結果となった。この要因としては、A社に比べてB社のほうがアイドリングストップを行う頻度が多いことが分かっており、より低いSOCで電池を使用していたものと考えられる。すなわち、電池にとって厳しい低SOC環境下において、IFBに対するUltraBatteryの優位性が明らかとなった。

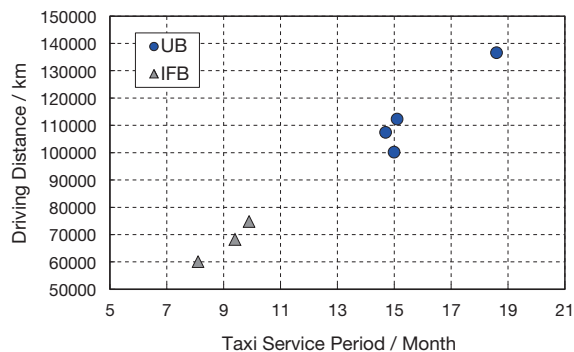


図 13 B 社における搭載年数と走行距離の関係
Fig.13 Taxi service period and driving distance in taxi company B

4. まとめ

マイクロハイブリッド車用 UltraBattery の実車試験結果を以下にまとめる。

- (1) トヨタ・ヴィッツを用いた実車試験により、UltraBattery は IFB に対して優れた充電受入性を示した。その結果、アイドリングストップ可能時間が増え、燃料消費率が向上した。さらにホンダ・ステップワゴンを用いた実車試験においても同様の傾向が見られたことから、異なる車種・電池サイズにおいても UltraBattery は優れた充電受入性、燃費改善効果を示すことが明らかとなった。
- (2) ISS タクシーによる実車試験を行った結果、アイドリングストップの頻度が少ない車両において、UltraBattery は IFB に対し約 1.2 倍の寿命を示し、アイドリングストップの頻度の多い車両においては約 1.7 倍の長寿命化を達成した。

参考文献

- 1) 自動車用電力マネジメント技術，自動車用電力マネジメント調査専門委員会編，第 1268 号，3，(2012)
- 2) 古川淳，高田利通，加納哲也，門馬大輔，L. T. Lam, N. P. Haigh, O. V. Lim, R. Louey, C. G. Phyland, D. G. Vella, L. H. Vu, FB テクニカルニュース，No.62，10 (2006)
- 3) 古川淳，高田利通，門馬大輔，L. T. Lam, N. P. Haigh, O. V. Lim, R. Louey, C. G. Phyland, D. G. Vella, L. H. Vu, FB テクニカルニュース，No.63，7 (2007)
- 4) 赤阪有一，坂本光，高田利通，門馬大輔，土橋朗，横山努，増田洋輔，中島秀仁，柴田智史，古川淳，L. T. Lam, N. P. Haigh, O. V. Lim, R. Louey, C. G. Phyland, D. G. Vella, L. H. Vu, FB テクニカルニュース，No.64，38 (2008)
- 5) 三浦，手塚，吉田，柴田智史，古川淳，L. T. Lam, FB テクニカルニュース，No.66，11 (2011)
- 6) 横山努，本間徳則，清水博文，高田利通，赤阪有一，柴田智史，川口祐太郎，古川淳，FB テクニカルニュース，No.67，15 (2011)

据置用 UltraBattery による蓄電システム実証試験

Demonstration of the battery energy storage system using Stationary UltraBatteries

土橋 朗 *1
Akira Dobashi

手塚 渉 *1
Wataru Teduka

三浦 優 *1
Yuu Minra

古川 淳 ^{*1}
Jun Furukawa

佐藤 敏幸 *2
Toshiyuki Sato

Abstract

The UltraBattery is a capacitor hybrid battery, which combines an asymmetric capacitor and a lead-acid battery in one unit cell. We built the battery energy storage system using UltraBatteries. We reduced the peak electricity and controlled electricity demand in lower than target value. In addition, when UltraBattery is charged/discharged, we examined lower limit of State of Charge (SOC).

1. 背景

東日本大震災以降の電力不足により、非常用電源の重要性が増すと共に、昼間のピーク電力抑制が大きな課題である。対策として、蓄電池を用いたピークカットが挙げられる。夜間電力で蓄電池を充電し、電力負荷の大きな昼間に放電して最大需要電力(デマンド値)を抑制する。

また、系統からの電力供給を低減するために、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの利用が積極的に進められているが、発電量が不安定である。そのため、蓄電池を用いて発電電力の変動吸収を行う事で、電力品質の安定化が可能となる。¹⁾

当社開発の据置用UltraBattery（以降、据置用UBと略す）は、従来の鉛蓄電池と比較して寿命性能を大幅に向上させた最新の鉛蓄電池である。²⁾そこで古河電池いわき事業所において据置用UBを用いたピークカット蓄電システムを構築し、2012年より運用している。

本報告では、いわき蓄電システムの概要とピークカット運転について報告する。また、蓄電池を運用する充電状態（以下、SOCと記す）の範囲を広げる検討を行ったので報告する。

2. いわき蓄電システム

2.1 蓄電系統

いわき蓄電システムの概略図を図1に示す。常時、電力系統から負荷（工場・事務所）に給電されているが、負荷の消費電力が設定した目標値を超えることが予想される場合、コントローラーが充放電装置を制御して、蓄電池から負荷へ放電を行う。この予測は、電力量計とデマンドサーバーと呼ばれる装置で行なっている。充電は主に夜間の電力の安い時間帯に行う。

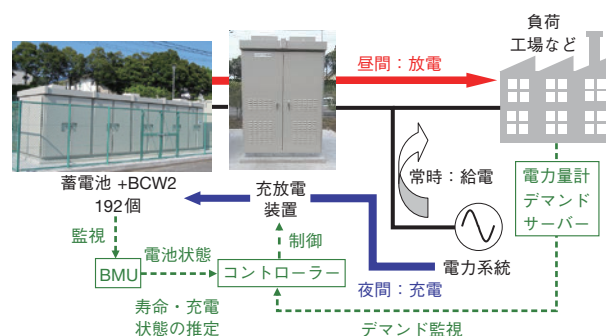


図1 蓄電システム概略図
Fig. 1 Outline of the battery energy storage system

それぞれの蓄電池には、BCW(Battery Conditioning Watcher)が設置されており、セル電圧、セル表面温度、内部抵抗を測定している。また、蓄電システム全体の電流と電圧も測定している。これらの電池状態に関するデータをBMU (Battery Monitoring

*1 経営戦略企画室 UB 事業化部 産業チーム

*2 産業機器営業統括部 営業技術部

Unit) に送り、充電状態 (SOC) を推定している。また SOC の値は、コントローラーの制御に用いられている。

2.2 蓄電池

蓄電システムの外観を図2に示す。左側が蓄電池盤であり192個の蓄電池が収められている。一方、右側は蓄電池用PCS (Power Conditioning System) である。蓄電池の充放電を行う装置であり、最大100kVAでの充放電が可能である。



図2 蓄電システム外観
Fig.2 Appearance of battery energy storage system

蓄電池および組電池の仕様を表1と表2に示す。蓄電池には据置用UBであるUB-1000を用いた。公称セル電圧は2V、定格10時間容量は1000Ah、公称エネルギー容量は2kWh/セルの蓄電池を192個直列に接続して組電池とした。蓄電池盤内の1ブロックに24セルの電池を収納している。組電池の総電圧は384V、充電時は上限461V (2.4V/セル×192セル) まで充電可能であり、放電時は下限345V (1.8V/セル×192セル) まで放電可能である。

表1 UB-1000の仕様
Table 1 Specification of UB-1000

形式	UB-1000	
定格電池容量 (10時間率@ 25℃)	1000 Ah	
方式	制御弁式	
公称セル電圧	2 V	
公称エネルギー容量	2 kWh/ セル	
質量	73 kg	
温度範囲	充電	0 ~ 40℃
	放電	- 15 ~ 45℃
	保存	- 15 ~ 40℃
最大電流	充電	0.4 C ₁₀ A
	放電	0.6 C ₁₀ A
均等充電電圧	2.4 V	
充電上限電圧	2.35 V	
放電下限電圧	1.8 V	

表2 組電池の仕様
Table 2 Specification of series-connected batteries

1ブロックのセル数	6列×4段=24セル
総セル数	192セル (8ブロック)
組電池電圧	384 V
均等充電電圧	461 V
運用上限電圧	451 V
運用下限電圧	345 V

2.3 蓄電池用PCS

蓄電池用PCSの仕様を表3に示す。交流入出力の定格容量は、100kVA、3相3線202V (50Hz) であり、直流 (蓄電池側) の運転電圧範囲はDC325V ~ 600V である。また、系統連系保護装置を備えており、単独運転検知機能により、停電が発生すると自動的にPCSも停止する。

表3 PCSの仕様
Table 3 Specification of power conditioning system

質量	1100 kg	
周囲温度	- 5 ~ + 40℃	
相対湿度	20 ~ 85 %	
交流定格容量	100 kVA	
交流	定格電圧	202 V 50 Hz
	定格電流	AC 286 A
直流	定格電圧	DC 345 V
	入出力電圧範囲	DC 0 ~ 600 V
	運転電圧範囲	DC 325 ~ 600 V
相数	3相3線式	
制御方法	電圧形電流制御PWM方式	

2.4 測定・制御機器

2.4.1 BMU

図1に示すBMUは、組電池と各セルの状態監視を行なっている。具体的には組電池の電圧・電流・蓄電池温度・雰囲気温度を測定する。また、BCW2（セルセンサ）で測定されたデータも最終的にBMUに送信される。BMUはPC（Personal Computer）を用いており、SOCなどの蓄電池の状態判定、警報処理を行っている。これらの値はイーサネット経由で遠隔で確認できる。イーサネットは、LAN（Local Area Network）で最も一般的な技術規格である。

2.4.2 BCW

各セルの状態監視には当社製品のBCW2を用いた。無線でデータを送信可能なBCW2を192セル全てに取り付け、セル電圧、内部抵抗、セル表面の温度を測定する。測定結果は、BCWのシステムコントローラーであるBCW-T4に集約され、全セルの状態監視が行われ、電池の寿命予測も行われる。その後、データはBMUに送信される。また、BCW-T4はイーサネットケーブルが接続可能であり、遠隔で監視を行っている。



図3 BCW2の外観
Fig.3 Appearance of BCW2

3. ピークカット運転

3.1 運用方法

蓄電システムでは、主に2種類の運用方法が用意されている。設定した定電力で充放電を行う運用と

デマンドを抑制するピークカット運転である。ここでのデマンドとは、電力会社から購入する電力の最大値であり、30分間の平均値で表される。本報告書では、ピークカット運転の状況について報告する。

3.2 ピークカット制御法

いわき事業所の変電所内に電力量計を設置し、電力会社から購入する電力量のデータをデマンドサーバーに入力する。デマンドサーバーでは、購入電力に応じて随時30分ごとの平均電力の予測値を算出している。設定した目標デマンドと平均電力の予測値から電力の過不足分を算出する。電力消費が増え続けると、不足電力が算出され、放電が開始される。放電開始後も不足電力が算出されると、この分を上乗せして、放電出力を上げる。放電中に過剰電力が算出された場合、過剰分を差し引いて、放電出力を下げる。電力の過剰状態が続いた場合、徐々に放電出力を小さくし、最終的に放電が終了する。

3.3 運用結果

夏季に蓄電システムでピークカット運転を行った。結果を図4に示す。2012年8月28日の8時～15時まで放電（ピークカット運転）、15時30分～21時30分まで充電を行った。目標デマンドは450kWに設定した。

図4には、蓄電池の充放電電圧と電力、PCS入出力電力を示した。グラフ中では、蓄電池の放電出力はマイナス、充電時はプラスで表記している。

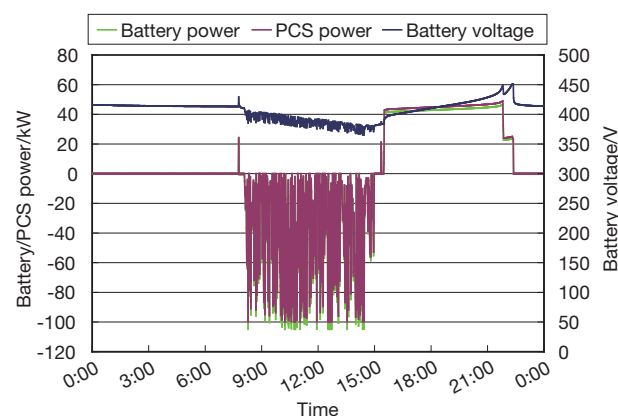


図4 ピークカット運転の充放電
Fig.4 Charge/discharge of peak-cut operation

8時の運用開始直後から、蓄電池は放電を始める。PCS出力の最大値が100kW、蓄電池の放電電流が280Aほどであった。午後の時間帯も、運転終了まで断続的に放電が行なわれた。この日の合計の放電電量は266kWhであった。

デマンドと据置用UBの放電出力の状況を図5に示す。デマンド値は30分の平均電力の最大値であるので、図中の全ての数値は30分間の平均値である。

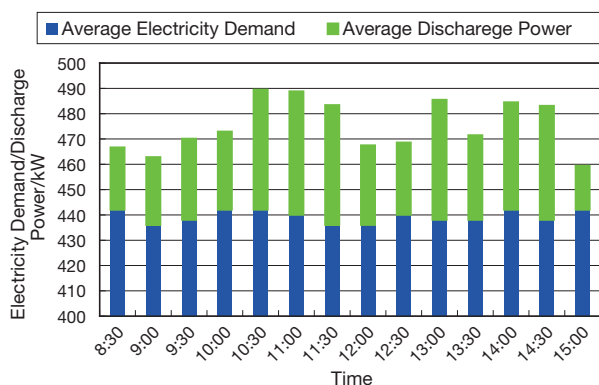


図5 ピークカット運転のデマンドの状況
Fig. 5 Electricity demand of peak-cut operation

この月のデマンド（購入電力の最大値）は442kWであり、目標値である450kW以下に抑えることに成功した。負荷で消費した平均電力は10時台で最大490kWとなる。これは、購入電力と蓄電池出力の合計である。同時時間帯に蓄電池から約50kWの出力で放電している。正午の時間帯はいわき事業所の昼休みの時間帯のため、蓄電池からの放電出力は減少している。

図5に示すように夏季に450kWに基準を設定することで、約50kWの削減効果が得られた。満充電からSOC30%まで放電した場合、約260kWhの放電が可能である。今回は266kWh放電されており、蓄電池の放電可能容量を使い切っている。

契約電力が50kW削減可能であることを確認した。これにより電力コストの削減効果が見込まれる。

4. SOC 運用範囲の検討

通常、UltraBattery UB-1000はSOCの下限を30%で運用されているが、SOCの下限値を引き下げることができれば、より多くの容量を放電可能となる。SOC30%以下の際のセル電圧のばらつきを調査した。

4.1 組電池の放電試験

満充電であることを確認した後、5時間休止し、約100Aで放電を開始した。組電池の電圧が、346V (1.8V/セル×192セル) に到達した時点でSOC0%として放電を終了した。

4.2 放電時のセル電圧の推移

各セル電圧は、BCW2により測定されており、SOCが30%、25%、20%、15%、10%、5%、0%の時の192個のセル電圧を度数分布で表したグラフが図6である。セル電圧は、1.78V～1.94Vの範囲に分布しており、この範囲を10mVごとに区切り、度数分布を求めた。横軸にセル電圧、縦軸に全体に占める割合を示している。SOCが低下するほど、電圧値分布が低電圧側に推移すると同時に、ばらつきが大きくなっている。

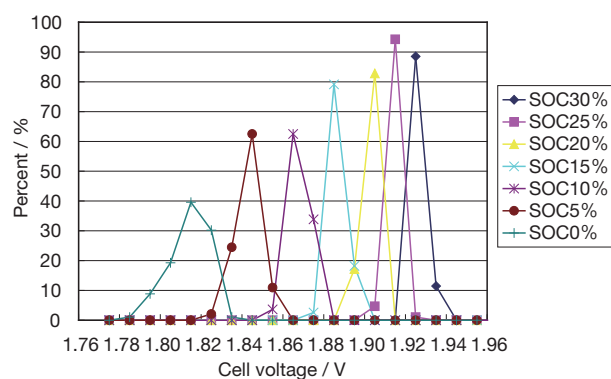


図6 セル電圧の度数分布
Fig. 6 Frequency distribution of cell voltages

各SOCの標準偏差と平均セル電圧を図7に示す。現状SOCの運用範囲下限は30%としているが、SOC30%の場合、平均電圧1.93V、標準偏差0.0023であった。SOC20%では、平均1.91V、標準偏差

0.0025である。全体の組電池の電圧差は約4Vであった。

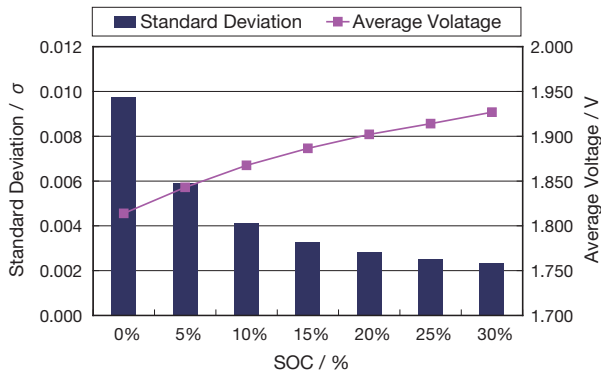


図7 標準偏差と平均電圧
Fig.7 Standard deviation and average cell voltage

SOC30%と20%を比較すると、平均電圧と標準偏差に大きな差は見られず、組電池全体としても、急激な電圧落ち込みは確認されなかった。

5. 実運用時のUltraBatteryの優位性

蓄電システムの長期運用を行う場合は、充放電時のセル電圧のばらつき発生状況が重要となる。過放電・過充電となるセルが現れると、集中して一部の蓄電池が劣化する状態となる。

よって、前述したSOC運用範囲の検証結果から、SOC下限20%としたときのセル電圧のばらつきを検証する。

5.1 運用パターン

放電は40kW定電力で10時～16時30分(6.5時間)行い、放電容量は約700Ahであった。充電は40kW定電力で夜間実施した。

停止条件は、451V(2.35V/セル×192セル)になった時点で充電を中止した。以上の条件で30サイクル(1ヶ月分)運用した。SOCは、90%～20%(ΔSOC70%)を目安に運用した。

30サイクルの充放電試験を行なったが、4～5サイクル、9～10サイクル、14～15サイクルの間には土日の休止が入っている。15サイクル以降は休

むことなく30サイクルまで充放電を実施した。組電池の総電圧、電流の推移を図8に示す。定電力で放電しているため、放電時の電流は100Aを越えているが、充電時の電流は100Aを下回っている。充電終期電圧、放電終期電圧において、BCWを用いてセル電圧の1分間の平均値を測定し、セル電圧の度数分布表からばらつきを確認した。

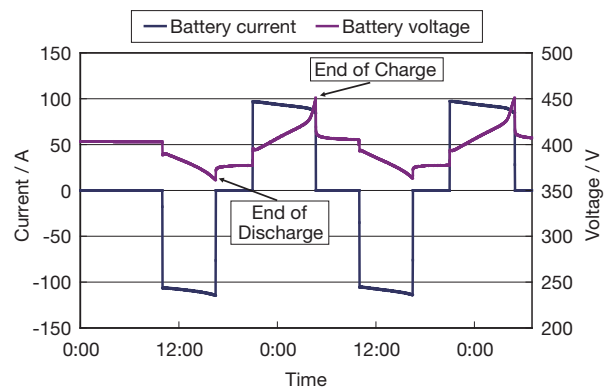


図8 サイクル試験の充放電状況
Fig.8 Charge/discharge of cycle test

5.2 放電時の電圧ばらつき

10時から6.5時間(700Ah)の放電を行なった際の放電終期電圧時の度数分布を図9に示す。30サイクル中10サイクルを抽出して表示した。図9において、セル電圧は1.88V以上に分布しており、電圧下限値(1.8V)までは余裕がある。これは、グラフに表示していないサイクルでも同様である。

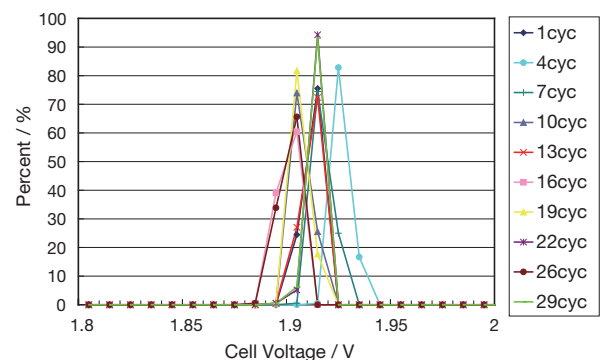


図9 放電終期時の度数分布
Fig.9 Frequency distribution of cell voltage at the end of discharge

標準偏差とセル電圧の範囲（セル電圧最大値と最小値の差）を図10に示す。標準偏差とセル電圧の範囲ともにサイクルによる大きな変動は、なかった。放電終期電圧は、ばらつきが小さく、セル電圧の低下傾向も見られず、良好な状態である。

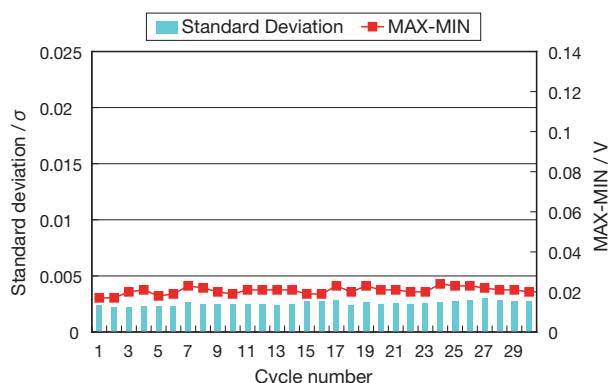


図10 放電終期時の標準偏差とセル電圧範囲の推移
Fig. 10 Process of standard deviation and range of cell voltage at the end of discharge

5.3 充電時の電圧ばらつき

21時から定電力の充電を行なった際の充電終期電圧時の度数分布を図11に示す。30サイクル中10サイクル分を抽出して表示した。図11において、当初はばらつきが小さかったが、サイクルが進むごとに、低圧側と高圧側に分布が広がっている。

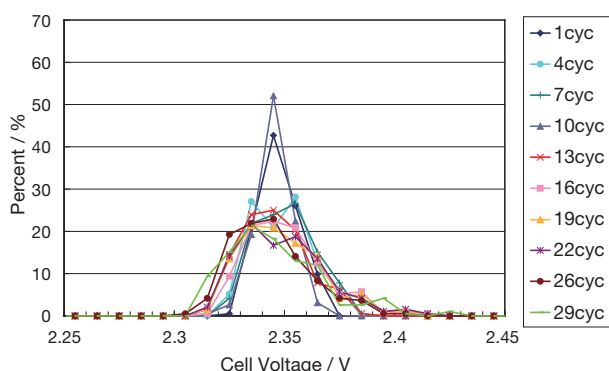


図11 充電終期時の度数分布
Fig. 11 Frequency distribution of cell voltage at the end of charge

標準偏差とセル電圧の範囲を図12に示す。標準偏差は明確な増加傾向にあり、セル電圧の範囲も値もサイクルが進むと増加傾向となる。このような、セル電圧のばらつきは、回復充電によりリセットすることが可能である。

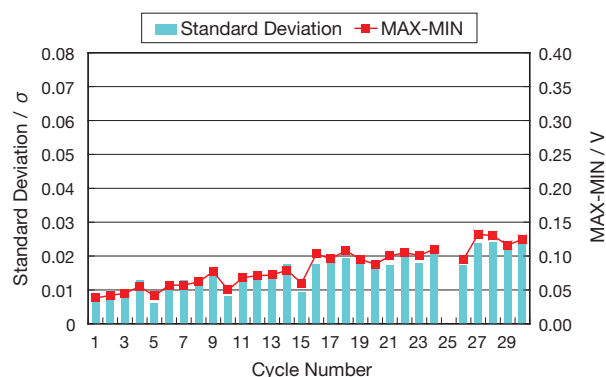


図12 充電終期時の標準偏差とセル電圧範囲の推移 (UB-1000)
Fig. 12 Process of standard deviation and range of cell voltage at the end of charge (UB-1000)

従来の制御弁型鉛蓄電池を用いて同様のサイクル試験を行なった。放電終期電圧の標準偏差とセル電圧の範囲を図13に示す。UB-1000を用いた場合に比べて、ばらつきが大きいことがわかる。据置用UBを用いることで、標準偏差とセル電圧の範囲を平均で3分の1に抑制できる。

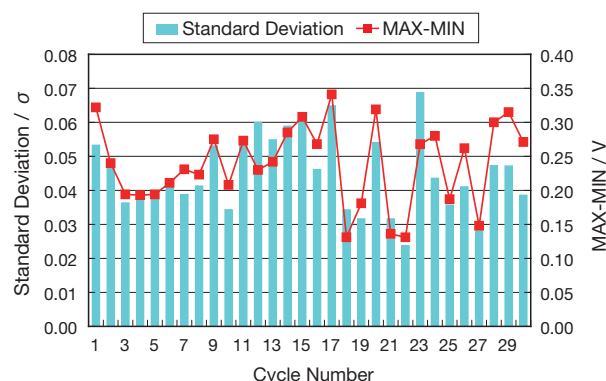


図13 充電終期時の標準偏差とセル電圧範囲の推移 (従来の制御弁式鉛蓄電池)
Fig. 13 Process of standard deviation and range of cell voltage at the end of charge (Conventional VRLA)

6. まとめ

- (1) ピークカット運用の制御法を確立。50kWの契約電力削減が可能であり、電力コストの削減が見込める。
- (2) SOCの下限を30%→20%と変更して0.1CAの放電を繰り返しても、下限のセル電圧のばらつきは増加しなかった。よってSOC運用範囲を広げられる可能性がある。これにより、導入する蓄電池の個数を削減し、インシヤルコストを削減できる可能性がある。
- (3) 運用における充電終期のセル電圧を調査したところ、据置用UBは従来の制御弁式鉛電池と比べて、ばらつきが大幅に小さいことが分かった。

7. 今後の予定

- (1) 温度状況や放電電流を変更した場合でも、SOC下限値を引き下げられるか引き続き検討する。
- (2) 充電時のセル電圧が、低電圧もしくは高電圧にばらつく傾向が、セルに与える影響を調査する。

参考文献

- 1) 吉田英明, 橋本健介, 荻野由涼, 手塚渉, 三浦優, 古川淳, FB テクニカルニュース, No.68, 3 (2012)
- 2) 三浦優, 手塚渉, 吉田英明, 柴田智史, 古川淳, L.T. Lam, FB テクニカルニュース, No.66, 11 (2011)

産業用リチウムイオン電池の開発とけいはんなエコシティ 次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクトへの参画

Development of the Stationary Lithium Ion Battery and Participation in Keihanna Eco-City the Next-generation Energy and Social Systems

箱崎 安洋 *
Yasuhiro Hakozaiki

平 芳延 *
Yoshinobu Taira

大平 賢治 *
Kenji Ohira

阿部 勲 *
Isao Abe

阿部 英俊 *
Hidetoshi Abe

Abstract

We have participated in Keihanna Eco City Project and developed 50Ah lithium ion cell using LiFePO_4 as the positive electrode. The cell developed indicates suitable Wh efficiency, high rate charge/discharge characteristics, cycle life, and excellent safety is confirmed. And we have developed 75kWh battery system for energy storage using these cells, set up the system in KEIHANNA PLAZA.

1. はじめに

CO₂排出抑制や、昨今の電力不足の問題から、電力の有効利用や再生可能エネルギーを活用するスマートグリッド、更には熱エネルギーの有効利用や交通システムなどを複合的に組み合わせた社会システムであるスマートコミュニティに大きな関心が寄せられている。¹⁾ スマートグリッドやスマートコミュニティでは、系統電力と、太陽光発電、風力発電、燃料電池、ガスタービンなどの種々の発電電力と、住宅、大小各種の店舗、公共機関、工場などの様々な負荷が複合的に接続することとなる。そのため、電力は非常に不規則に変動し、その安定化には高性能な蓄電池システムが求められている。エネルギー密度が大きいリチウムイオン電池は、その候補として大きな期待を集めている。

スマートグリッドやスマートコミュニティの用途に適合するリチウムイオン電池は、大電流充放電に強く、かつエネルギー損失が小さくなるようにインピーダンスが低いことが重要である。更には、小電力でも効率良く充電できるようにWh（ワットアワー）効率が高く、様々な部分充電状態（以下、「PSOC：Partial State Of Charge」という）で運用し

ても長寿命性能を有し、安全で大容量の電池であることも必要となる。

これらに関連して、昨年度は経済産業省補助事業「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の1つである「北九州スマートコミュニティ創造事業」について報告を行っている。²⁾

我々はまた、別事業である「けいはんなエコシティ 次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト」にも参画しており、これまで研究してきたオリビン型リン酸鉄リチウム（以下、「リン酸鉄リチウム」または「 LiFePO_4 」と記す）を活物質とした水性ペースト式正極電極³⁾、改質黒鉛材料を活物質とした水性ペースト式負極電極から構成される50Ahのリチウムイオン電池（以下、「セル」という）を使用している。

上記のセル160個と電池管理装置を組み合わせた25kWh蓄電池パックを製作し、その蓄電池パックを三台並列化させることで、75kWhの蓄電池システムを構築した。

本報告では、開発したセルの主な特性と安全性、蓄電池システムの設置状況について報告する。

* 技術開発本部 開発部

2. 50 Ah セルの開発

2.1 開発仕様

開発したセルの仕様を表1に示す。

表1 セルの仕様
Table 1 Specification of the cell

項 目		仕 様
定格容量		50 Ah
公称電圧		3.2 V
寸 法	W	171 mm
	T	32 mm
	H1 ^{*1}	242 mm
	H2 ^{*2}	260 mm
質 量		3.00 kg

*1：端子を含まない電槽高さ

*2：端子を含む電槽高さ

要求を満たすセルを開発するにあたり、我々は安全性を最優先に考慮し、正極活物質にリン酸鉄リチウムを選択した。一般的にセルの正極活物質としては、リン酸鉄リチウム以外にも層状化合物であるコバルト酸リチウムやニッケル、マンガン、及びコバルトの三種の遷移元素を有するリチウム含有三元系層状酸化物、或いはスピネル型のマンガン系リチウム含有酸化物などの種々の選択肢がある。しかしながら、上述したような酸化物系の材料は何れも熱的な安定性が低く、中大形のセルを構成する上で安全性のリスクが大きい。一方、リン酸鉄リチウムは他の材料に比べて熱安定性が高く、また酸化還元電位が卑な為、電解液の酸化分解が起こりにくく、電池の長寿命化にも有利な材料である。なお、酸化物系に比べ電池電圧が低くなるが、電池の直列数を増やすことで補うことは可能である。

更に今回、正極を作製するにあたり、水性ペースト式の電極作製方法を選択した。水性ペースト式の電極作製方法とは、活物質を主成分とする水性ペーストを作製し、これを集電体に塗布/乾燥させ、密度調整をした後、サイジングすることで電極を得る方法である。この水性ペースト式の電極作製方法では、例えば、202℃の高い沸点を有するN-メチル-2-ピロリドンなどの高沸点有機溶媒を用いたペースト

による電極作製方法に比べ、低い温度でペーストを乾燥させることができる。更に、電極乾燥時に排出される有機溶剤の回収や処理（燃焼やリサイクル精製）を行う必要が無い。そのため電極作製時の消費エネルギーやCO₂排出量などの環境負荷を低減できることから、その選択は高い意義を有する。

一方、負極には電解液との反応性を低減させ、熱的安定性を高めた改質黒鉛系材料を活物質として、同じく水性ペースト法で作製した電極を用いた。

電解液には有機電解液を用いるが、長寿命を得る目的で、電解液中の酸分と水分を限界まで低減させた。また、負極活物質の改質機能を補助的に高める添加剤を添加した。

セパレータには、ポリエチレン成分を有するポリオレフィン系材料を用い、熱的安定性、高温時のシャットダウン機能、電解液中のリチウムイオンの泳動機能をバランスさせることに注力した。

電槽（電池容器）にはステンレス鋼を用い、耐酸性、溶接性、耐磁性化のバランスに注力した。また、電槽には、当社が宇宙用のセルで用いてきた放圧弁を装備し、更には、電池内圧上昇時に信号を出す圧力スイッチを開発し、装備した。開発したセルの外観を図1に示す。



図1 セルの外観
Fig.1 Appearance of the cell

2.2 開発セルの特性

12個の50Ahセルを、環境温度25℃下、0.5ItA (25A) の定電流 (以下「CC」という) で電池電圧が3.6Vに達するまで充電し、その後に電池電圧を3.6Vに規制した状態で電流が0.05ItA (2.5A) に垂下するまで定電圧 (以下「CV」という) で充電 (以下「CC-CV充電」という) を行い、その後、30分間休止させた後、0.2ItAのCCで電池電圧が2Vに達するまで放電して、セルの充放電特性を評価した。評価結果の充放電曲線を図2に、充放電容量とWh効率を表2に示す。

評価の結果、良好な電圧平坦性を有する充放電曲線を示した。また放電容量は定格容量を十分に満足する容量が得られた。また、Wh効率は97.6%の高い値を示した。

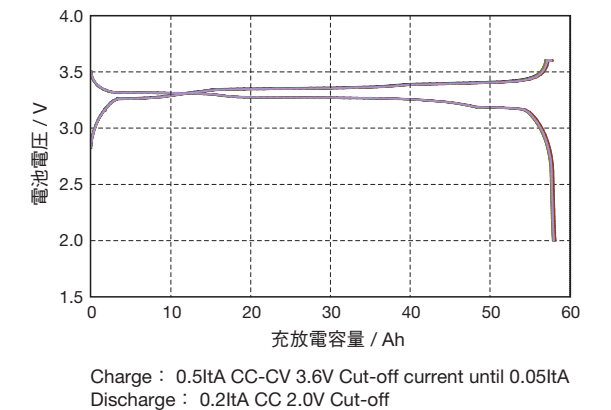


図2 セルの充放電特性 (n = 12)
Fig.2 Nominal characteristic of the cell

表2 セルの充放電特性
Table 2 Nominal characteristic of the cell

	充電		放電		Wh 効率 %
	容量 Ah	電力量 Wh	容量 Ah	電力量 Wh	
平均	57.6	193.1	58.0	188.4	97.6
最大	57.8	193.5	58.2	189.0	97.7
最小	57.4	192.5	57.8	187.9	97.3
σ	0.10	0.33	0.09	0.33	0.10

2.3 開発セルの安全性

2.1項で述べたように本事業では安全性の高いリン酸鉄リチウムイオン電池を用いており、その安全性を検証するため、国連勧告試験及びJIS C 8715をベースとした10項目の安全性試験を行った。試験内容と判定を表3に示す。

試験の結果、何れの試験においても不合格はなく、本電池の高い安全性が確認できた。

表3 安全性試験内容と判定
Table 3 Contents of safety test and decision

試験名	判定
高度シミュレーション	合格
温度試験	合格
振動試験	合格
外部短絡試験	合格
衝突試験	合格
強制放電試験	合格
過充電試験	合格
強制内部短絡	合格
落下試験	合格
加熱試験	合格

3. 75 kW 級リチウムイオン蓄電池システムの開発

3.1 開発仕様

前項で開発した50Ahセルを用いた蓄電池システムの仕様を表4に示す。

表4 75 kWh 蓄電池システムの仕様
Table 4 Specification of 75 kWh-battry system (ESS)

項 目	仕 様
セル数	480セル
容 量	150 Ah
電 圧	512 V
運用電圧 (最高 / 最低)	552 V / 400 V
最大許容電流 (連続 / 瞬時)	75 A / 225 A
寸 法	W 4,250 mm × D 3,150 mm × H 2,800 mm

本蓄電池システムが連携するパワーコンディショニングシステム (以下「PCS」と記す) が、400V 以上で高い変換効率を有することから、運用中の充放電

電圧の作動範囲を400V以上(400V～552V)とするため、蓄電池システムの定格電圧を512Vとした。

3.2 システム開発

リチウムイオン電池を直列で用いる場合、安全性の確保と高い性能を維持するために、種々の項目を管理する必要がある。そのためには、電池特性や負荷の種類に適した管理装置を備えることが重要である。また、蓄電池システムを構築する場合、その上位システムは、外部のシステムや付帯設備とのインターフェース(以下、「I/F」という)としても必要であり、その役割は多岐にわたる。

我々は当該システムを開発するにあたり、「北九州スマートコミュニティ創造事業」において開発した以下のような分割型の電池システムを適用させることとした。

- ①単電池を8個直列接続してモジュールを構成する。
- ②モジュールを5個直列接続してユニットを構成する。
- ③ユニットを4個直列接続して10kW-1時間の負荷を保証するパックを構成する。

本事業では、上記のパック3台を3並列接続することで、PCSの要求負荷である30kW-1時間を保証する。

モジュールは、モジュール内の単電池を管理するモジュールマネジメントシステム(以下「MMS」という)を、ユニットはユニット内のモジュールを管理するユニットマネジメントシステム(以下「UMS」という)を備えている。更に、モジュールはモジュール内の単電池間の電圧のアンバランスを低減させるバランス回路を備えている。

単電池のデータ(電圧、温度、内圧)はMMSがアナログで測定し、MMS内でデジタル化し、上位のUMSに無線で送信する。MMSとUMS間のその他の通信も全て無線化することで、通信線による短絡の危険性を低減させることができた。

今回使用したUMSは1個のモジュールから管理することができ、同様にバッテリーコントローラ(以下「BCTL」という)は1個のユニットから制御す

ることができるため、他の電圧のシステムにおいても、本システムの適用が可能であり、その汎用性は極めて高い。今回新規に開発した電池管理装置(MMS、UMS、BCTL、バランス回路)の主な機能を表5に示す。

表5 75kWh 蓄電池システムの管理装置の機能
Table 5 Function of battery management system for 75kWh-battery system

装置	分類	管理項目
MMS	情報取得	セル電圧、モジュール温度、セル内圧上昇信号
	保護機能	セル過大/過小電圧、モジュール過大/過小温度、セル過大内圧
	その他	バランス回路作動命令、内圧スイッチ電源供給、UMS健全性確認
UMS	情報取得	モジュール電圧、モジュール電流、電流方向
	保護機能	モジュール過大/過小電圧、ユニット過大電流
	その他	FANのON/OFF制御、バックブレーカON/OFF、MMS及びBCTL健全性確認 etc
BCTL	情報取得	ユニット電圧、バック電圧、バック電流、周囲温度
	保護機能	ユニット過大/過小電圧、バック過大/過小電圧、バック過大電流、周囲温度過大/過小、SOC過大/過小
	その他	SOC計算と表示および記録、全データの記録、UMS健全性確認、上位システムとのI/F、外部BCTLとのI/F etc
バランス回路		SOCのバランスング

内部抵抗の小さい高性能電池で構成した500V級蓄電池を並列接続する場合、パック間の電圧差が比較的小さい場合でも並列接続時に大きな電流が流れることが判明した。この課題解決のため蓄電池設備の付帯装置として並列化装置を開発した。

この並列化装置は並列化装置本体(主回路部)、並列化装置操作盤、安定化電源、電子負荷で構成され、パック間の電位差を安定化電源と電子負荷で調圧し、並列接続時の均等化電流を抑制する。また、この装置は100Aのヒューズを内蔵し、100A以上の均等化電流を遮断し、作業員、電池、装置自身を保護する。また、この装置の操作盤は並列化装置本体と分離された構造であり、遠隔で並列接続作業を行うことで作業の安全性を高めている。開発した並列化装置の主な仕様を表6に示す。

産業用リチウムイオン電池の開発と
けいはんなエコシティ次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクトへの参画

表6 並列化装置の主な仕様
Table 6 Specification of parallelization system

項 目		仕 様
本体	定格電圧	600 V
	定格電流	100 A
	バック接続数	1 ～ 3 バック
	安全装置	各バック用メータリレーで異常電圧保護（上下限） 100 A ヒューズ
操作盤	本体分離距離	10m
	主電源スイッチ	キースイッチ
	安全装置	非常停止（接続解放）ボタン
安定化電源	電圧範囲	0 ～ 600 V
	出力範囲	0 ～ 5.0 kW
電子負荷	電圧範囲	0 ～ 600 V
	入力範囲	0 ～ 5.2 kW

上記の各コンポーネントを用いた蓄電池システムの構成イメージを図3に示す。

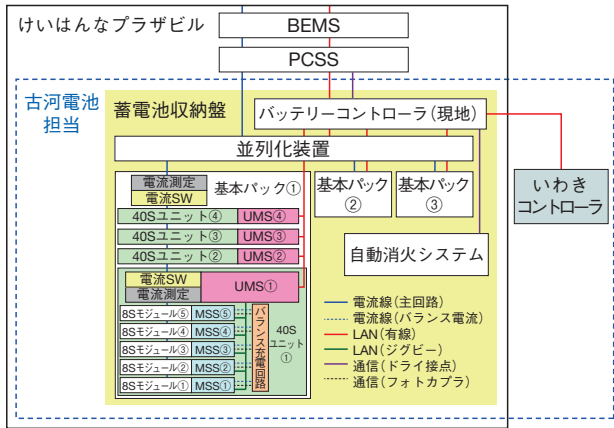


図3 75kWh蓄電池システムの構成イメージ
Fig.3 Image of 75kWh-energy storage system

4. けいはんなエコシティプロジェクト参画

4.1 75 kWh 蓄電池システムの設置

けいはんな学研都市（京都府相楽郡精華町）にある「けいはんなプラザビル」で実施されている経済産業省次世代エネルギー・社会システム実証で用いる蓄電池の一つとして前項で開発した蓄電池システムを設置した。設置状況を図4に示す。



図4 75kWh蓄電池システムの外観
Fig.4 Appearance of 75 kWh-energy storage system (ESS)

4.2 75 kWh 蓄電池システムの放電特性

「けいはんなプラザビル」に設置した75kWh蓄電池システムの放電特性を、並列化装置に付帯した安定化電源(5.0kW)と電子負荷(5.2kW)を用いて評価した。

充電はシステム中の最低セル電圧が3.35Vになるまで、554Vの電圧規制のもと、最大電流(定電流)7.5Aで充電した。一方、放電は定電流8.7Aで、少なくとも1個のセルの電圧が2Vになるまで放電した。充放電中のバック電圧の変化と電流変化を図5に示し、集計データを表7に示す。

表7 75kWh蓄電池システムの初期特性
Table 7 Initial nominal characteristic of 75kWh-ESS

項 目	初期特性
放電容量	146.9 Ah
電力容量	77 kWh

評価の結果、「けいはんなプラザビル」に設置した75kWh蓄電池システムの初期放電特性として、容量146.9Ah、放電電力量77kWhが得られた。

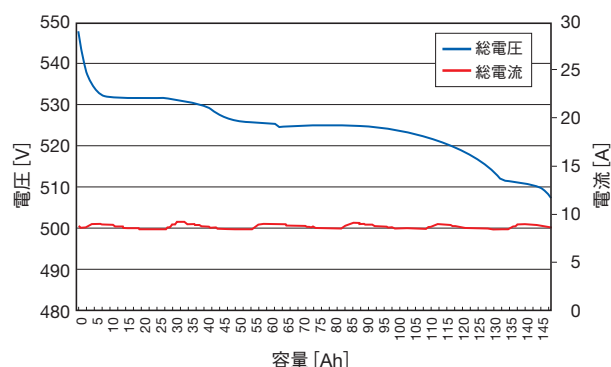


図5 75kWh 蓄電池システムの初期放電特性
Fig.5 Initial characteristic of 75 kWh-ESS

5. まとめ

- 1) 経済産業省けいはんなエコシティ 次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクトに参画して、正極に LiFePO_4 を用いた50Ahセルを開発した。
- 2) 50Ahセル480個と電池管理装置を組み合わせた75kWh蓄電池システムを開発し、けいはんな学研都市（京都府相楽郡精華町）にある「けいはんなプラザビル」に設置した。
- 3) 今後は、設置した蓄電池システムの実証運用において、フィールドデータを収集し、当該システムの課題を見極める。

7. 謝 辞

本研究は、NEDO 共同研究「蓄電複合システム化技術開発」の成果並びに経済産業省補助事業「次世代エネルギー・社会システム実証-事業」の補助の下に実施しているもので、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 北九州市HP
- 2) 鈴木智統、阿部英俊、江黒高志、金村聖志、斉藤光正、FBテクニカルニュース, No.66, p31-35 (2011).
- 3) 山本 真裕、箱崎 安洋、平 芳延、大平 賢治、阿部 勲、阿部 英俊, FBテクニカルニュース, No.68, p9-15 (2012).

小惑星探査機「はやぶさ2」用リチウムイオン電池の開発

Development of Lithium-Ion Battery for the Asteroid Explorer “Hayabusa2”

小出 和也 *
Kazuya Koide

蛭田 輝繁 *
Terushige Hiruta

大登 裕樹 *
Hiroki Ooto

阿部 英俊 *
Hidetoshi Abe

Abstract

Based on the fundamental technologies used in Li-ion cells for the asteroid explorer “HAYABUSA” and the Venus probe “AKATSUKI” of JAXA, we started development of Li-ion cells to be used for “Hayabusa2” which is the successor mission to “HAYABUSA”. Requirements for “Hayabusa2” cells are 13.2Ah capacity and less than 590g mass, which are identical to those required for “HAYABUSA” cells. We test-produced an engineering model cells, and have confirmed the capacity deterioration is enough small by conducting operational simulation tests. Based on development results, we produced a Fright model cells which achieved rated capacity of 13.2Ah, and performed assessment of safety, and of durability in mechanical environments. Through these assessments, we surveyed whether the developed cell's structure can sufficiently withstand vibrations and impacts occurring during “Hayabusa2” mission.

1. はじめに

当社は宇宙研究用及び人工衛星用Ni-Cd電池、Ni-MH電池の研究開発と製造実績を基に、宇宙用リチウムイオン電池を開発した^{1)~3)}。この電池は宇宙科学研究所（現 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所）殿の小惑星探査工学実験探査機「はやぶさ」に搭載され、2003年5月の打上げ以降、3.5年にわたって軌道上での実証評価を進め、宇宙用として優れた性能と品質を満足することを確認した^{4)~6)}。

「はやぶさ」用電池開発で培った技術をベースに、大型化、高エネルギー密度化、長寿命化を達成した23.5Ahのリチウムイオン電池は、金星探査機「あかつき」に搭載され、2010年5月の探査機の打上げ以降、現在も軌道上で運用中である^{7)~15)}。

これらの成果を元に、「はやぶさ」の後継ミッションである「はやぶさ2」用の電池開発をスタートした¹⁶⁾。本報ではエンジニアリングモデルセル（以下EMセルと記す）を用いたシミュレーション試験によるミッション適合性の検証結果と、探査機搭載用として製造したフライトモデルセル（以下FMセルと記す）の特性評価結果について報告する。

2. 「はやぶさ2」搭載用セルの仕様

「はやぶさ2」探査機の基本設計は「はやぶさ」の設計をベースとしている。FMセルも「はやぶさ」用と同等の13.2Ahの定格容量と、590g以下の質量を要求されている。「はやぶさ2」は11個のFMセルを直列接続してなるバッテリーを1台搭載する計画である。

3. 「はやぶさ2」ミッションとセルの運用計画

3.1 「はやぶさ2」ミッションと要求性能

「はやぶさ2」探査機は2014年度に打上げられ、1年後の地球スウィングバイを経て2018年に目的の小惑星に到着する。1.5年間の探査期間で小惑星のサンプルを採取し、2019年に小惑星を出発、2020年に地球へ帰還する予定である。

「はやぶさ2」ミッションにおけるFMセルの充放電イベントと、要求性能を表1に示す。なお、最大電流と容量は電力要求条件と定格電圧から概算した推測値である。FMセルは計画されている①打上げ、②地球スウィングバイ、③タッチダウン、④帰還時セーフホルドの4回のイベントで、全て1ItA以上の高出力性能を要求される他、軌道上の全期間

* 技術開発本部

で探査機のセーフホールド(姿勢喪失時の回復作業)に必要な電力を保障するスタンバイユースで運用される。

表1 「はやぶさ2」ミッションの要求性能
Table 1 Requirement of mission for "Hayabusa2"

Event	Time / year	Current / A	Capacity / Ah
Launch	1.7	13.55	12.43
Swing By	2.7	17.46	6.87
Touch Down	5.2-6.2	13.24	4.27
Safe Hold	7.7	17.38	4.33

3.2 容量劣化シミュレーション

要求条件を反映してFMセルを運用した際の充電状態(State Of Charge、以下「SOC」と記す)のパターンを図1に示す。

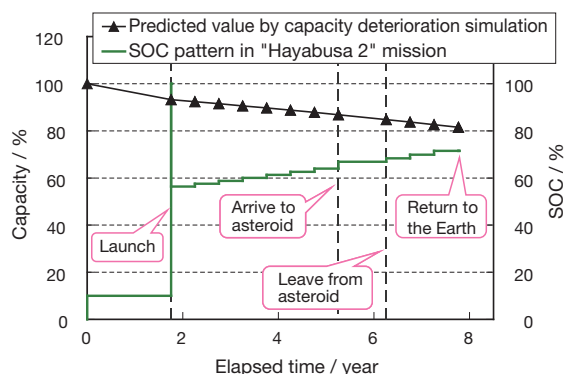


図1 「はやぶさ2」用バッテリーのSOCと容量の推移
Fig.1 Transition of SOC and Capacity of Battery for "Hayabusa2"

打上げ後はセーフホールドを保障する最低限の容量のみ充電して、およそ半年の間隔で直列接続したFMセルの電圧バラツキを抑制するリセットオペレーションを実施し、その際に容量劣化分をSOCに上乗せするステップアップ運用を計画している。このSOCパターンで運用したFMセルの容量は黒の線で推移すると予測される。

容量劣化シミュレーションから予測した「はやぶさ2」運用中のFMセル容量の推移と、各イベントの要求容量を図2に示す。軌道上では電池性能の経

年劣化を抑制する目的から $5 \pm 5^\circ\text{C}$ でFMセルを運用する計画であるため、低温による負荷増大、更に過放電保護による容量低減分を考慮すると、軌道上での容量の推移は青の線まで下降すると推測される。

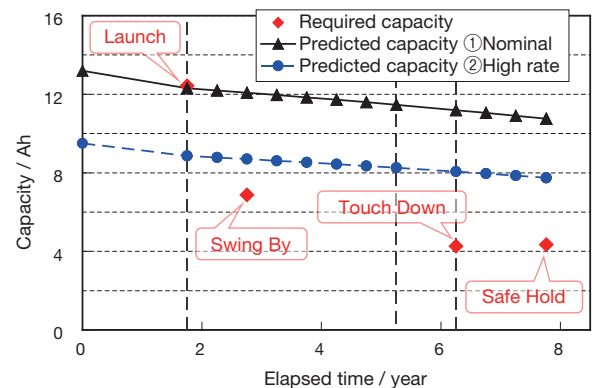


図2 「はやぶさ2」用バッテリーの容量の推移
Fig.2 Transition of Capacity of Battery for "Hayabusa2"

容量劣化シミュレーション予測によりミッション終了までセーフホールドに必要な容量を保障する目処が得られた。

一方で、打上げ、地球スウィングバイ、タッチダウンの計画放電において容量不足が懸念されるため、軌道上での計画放電に際しFMセルの管理温度を 20°C に調整する。更に最大の容量を要求される打上げ時には、通常の充電制御電圧(4V)を超過してFMセルを充電し、大きな容量を得る検討もケーススタディで実施する。

4. シミュレーション試験による設計の検証

定格容量13.2AhのEMセルを用い「はやぶさ2」ミッションを想定したシミュレーション試験を実施し、ミッションへの適合性を検証した。実際の運用期間を想定した運用シミュレーション試験のほか、 10°C 二倍速の経験則を適用し、評価期間を1/4に短縮した加速シミュレーション試験も実施した。

4.1 納入～打上げまでの容量劣化

打上げまでの地上保管を模擬したシミュレーション試験の結果を図3に示す。この期間、バッテリーは特性劣化と過放電を避けるために10%の容量を充電した状態で保管される。加速試験は計画の1.7年の評価を完了し、容量劣化シミュレーションによる予測値を上回る良好な特性を示した。

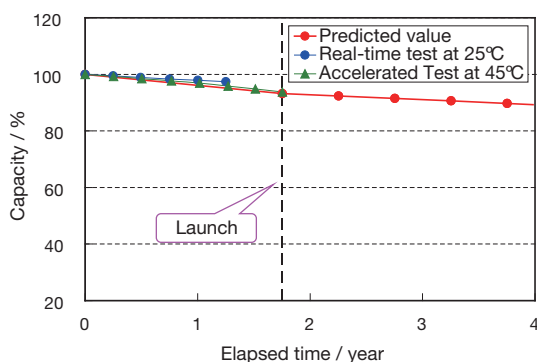


図3 運用シミュレーション試験：出荷～打上げ
Fig.3 Simulated Operation Test from Cell Delivery to the Launch on EM Cells

4.2 打上げ模擬試験

打上げ時の要求容量に備えて高電圧充電制御による放電容量の増加を検討した。

図4に、通常の4V制御と、4.25V制御とで充電したEMセルの充放電特性を比較する。4.25Vで充電したEMセルは4V充電の130%の容量が得られた。

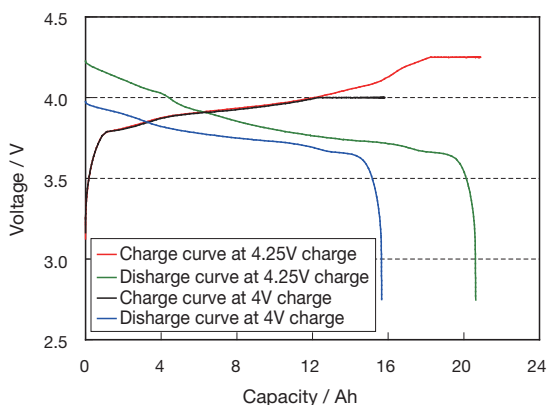


図4 充電電圧の違いによる充放電特性の比較
Fig.4 Charge-discharge Behaviors of EM Cells at Several Charge Voltage

4.1項で地上保管運用を完了した加速シミュレーション試験用EMセルを用い、打上げを想定した模擬試験を実施した。結果を図5に示す。4.25V制御の充電では表1の予測容量を上回る放電容量が得られた。また、環境温度を20℃に設定する対策と兼用した場合、予測容量と放電下限電圧に対し大きなマージンを有する事が確認された。

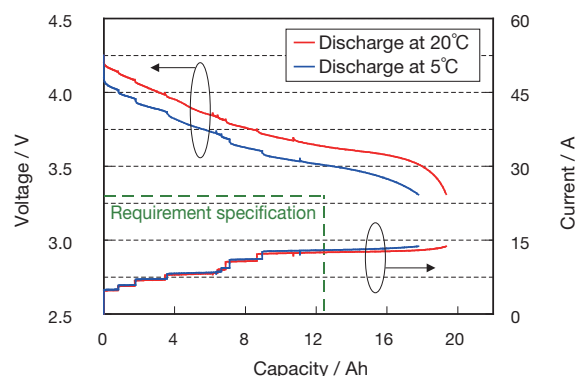


図5 EMセルによる打上げ模擬試験
Fig.5 Prediction of Discharge Behaviors at Launch by EM Cells

5. FMセルの開発

5.1 FMセルの仕様と初期充放電特性

「はやぶさ2」搭載仕様のFMセルを製造した。FMセルの外観と諸元を図6に示す。FMセルは13.2Ahの定格容量と590g以下の質量、並びにミッションの最大負荷において定格の90%以上の容量を目標としている。

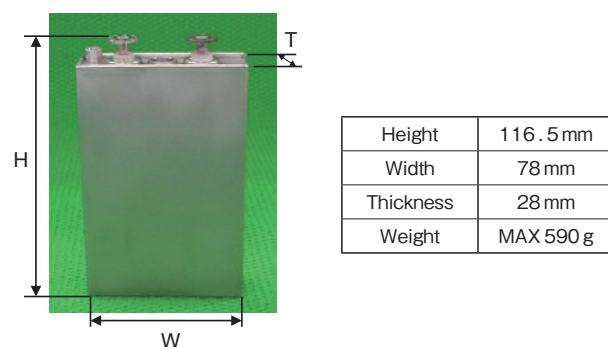


図6 FMセルの外観と諸元
Fig.6 Appearance and Specifications of FM cells

5.2 FM セルの充放電特性

FMセルの初期充放電特性を図7に示す。20℃環境下において目標とする13.2Ahの定格容量を達成した。

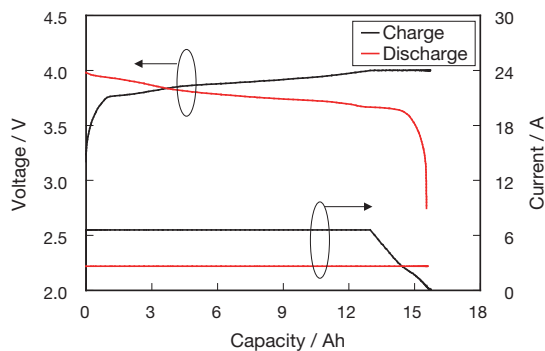


図7 FMセルの初期充放電特性
Fig.7 Initial Charge-discharge Behaviors of FM cells

最大の要求負荷であるセーフホールド運用時の電力条件(セル当り58.1W)を用い、定電力方式でFMセルの負荷容量を測定した。軌道上の管理温度は $5 \pm 5^\circ\text{C}$ であるため、最も負荷が大きくなる 0°C に評価温度を設定した。結果を図8に示す。目標とする定格の90%容量が得られた。

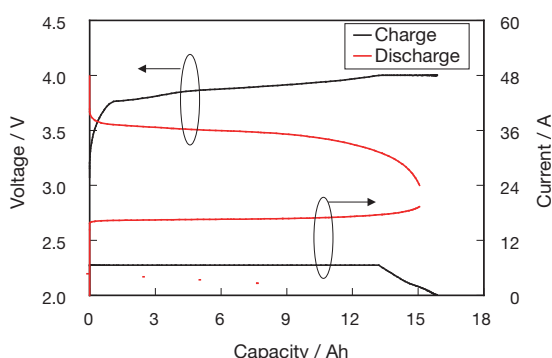


図8 FMセルの負荷容量
Fig.8 Load Discharge Capacity of FM Cells

6. FMセルの安全性評価

FMセルの安全性の評価として過充電試験、及び外部短絡試験を実施した。安全性試験条件、並びにその結果を表2に示す。

表2 FMセルの安全性試験
Table 2 Safety evaluation of FM cells

Item	Test method	Result
Overcharge Test	The cell was over-charged to 200 % of rated capacity at 10°C .	Abnormality none
External Short Circuit Test	The fully charged cell was short-circuited with $30\text{ m}\Omega$ external resistances at $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. The cell was remained on test for 8 hours.	Abnormality none

6.1 過充電試験

100% SOCのFMセルを1時間、1ItAの定電流で充電し、200% SOCまで過充電した。過充電時のFMセルの電圧、温度特性を図9に示す。試験の結果、破裂、発火、放圧弁作動、熱暴走に至るような急激な温度上昇は無く、FMセルが安全性要求を満足していることを確認した。

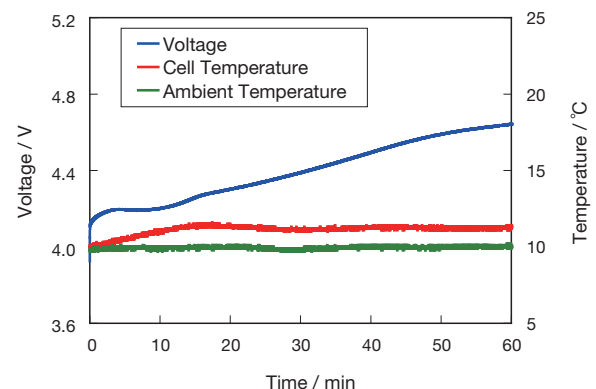


図9 過充電試験
Fig.9 Overcharge Test

6.2 外部短絡試験

100% SOCのFMセルを外部回路により8時間短絡させた。線間抵抗は作業中の不具合を考慮し $30\text{ m}\Omega$ とした。短絡開始から1時間の電圧、温度特性を図10に示す。

短絡開始後には最大で129.9Aの短絡電流が流れ、比較的大きな温度上昇が発現したが、約7分後に短絡電流は垂下し、これに伴い温度も低下した。8時間、短絡を継続しても発火、破裂、放圧弁作動、熱暴走に至る急激な温度上昇は無く、FMセルが安全性要求を満足していることを確認した。

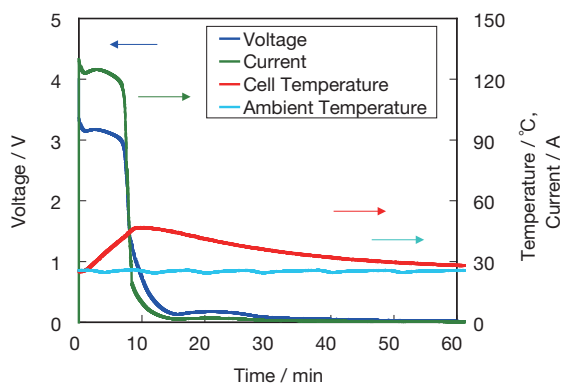


図10 外部短絡試験
Fig. 10 External Short Circuit Test

7. FMセルの耐機械環境特性

FMセルの耐環境性を調査する目的で、機械環境試験を実施した。

JAXA 殿の『はやぶさ2搭載機器の耐環境性設計基準書 (PME-210014)』により定められた要求レベル (QT レベル) に従い、ランダム振動試験、正弦波振動試験、パイロ衝撃試験を実施し、振動および衝撃印加時の電池特性の異常の有無を評価した。

試験項目と試験方法を表3に示す。各振動試験の条件は打上げ時の振動を想定している。パイロ衝撃試験条件は、探査機が太陽電池パドル展開時の衝撃と、サンプル採取のため探査機が小惑星に着陸する (タッチダウン) 際の衝撃とを想定している。

表3 FMセルの機械環境試験
Table 3 Mechanical environmental test of FM cells

Item	requirement	Test method
Random vibration test	X, Y axis : maximum 10.4 G Z axis : maximum 17 G	The cell which charged 135 % vs rated capacity, was vibrated with 5.7 A discharging. Cell voltage and temperature were monitored during vibration test.
Sinusoidal vibration test	X, Y, Z axis : maximum 25 G	◇
Pyrotechnic shock test	X, Y, Z axis : maximum 500 G	The fully charged cell and the 50 % charged cell were subjected to shock with 9.1 A discharging. Cell voltage and temperature were monitored during shock test.

実際の運用と同じ負荷が加わる状況を想定し、同じ評価用FMセルで全ての試験を実施した。

7.1 ランダム振動試験

打上げを想定して、4.25V (定格の135% SOC) に充電したFMセルを5.7A (打上げ時の予想電流値) で放電し、最大17Gのランダム振動を印加した。X軸、Y軸、Z軸の全ての方向で振動試験を実施したが、代表としてZ軸のランダム振動試験時の放電挙動を図11に示す。

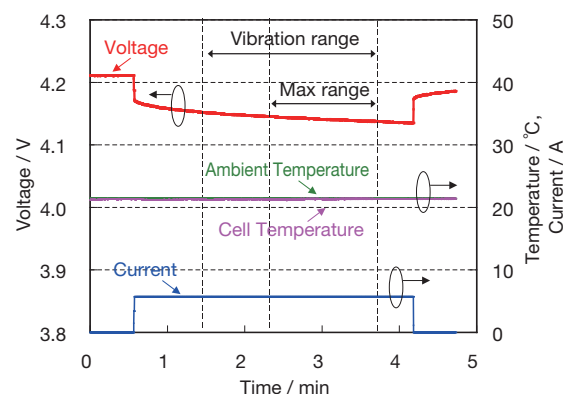


図11 ランダム振動試験 Z軸方向
Fig. 11 Random Vibration Test, Z-axis

FMセルの放電中の電圧、電流、温度に急激な変化は無く、要求条件を満足していることを確認した。

7.2 正弦波振動試験

ランダム試験と同様、4.25V に充電したFMセルを5.7Aの電流で放電し、最大25Gの正弦波振動を印加した。Z軸の正弦波振動試験時の放電挙動を図12に示す。

FMセルの放電中の電圧、電流、温度の急激な変化は無く、要求条件を満足していることを確認した。

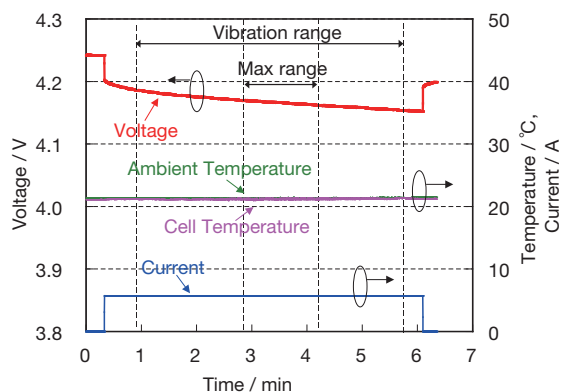


図12 正弦波振動試験 Z軸方向
Fig.12 Sinusoidal Vibration Test, Z-axis

7.3 パイロ衝撃試験

打上げ直後の太陽電池パドル展開時を想定して、4.25Vに充電したFMセルを9.1A（太陽電池パドル展開時の予想電流）で放電し、パイロ衝撃を印加した。なお、パイロ衝撃試験は全ての軸の+方向、-方向にそれぞれ1回ずつ実施した。-Z軸のパイロ衝撃試験時の放電挙動を図13に示す。最大で800Gを超える衝撃をFMセルに印加したが、放電中の電圧、電流、温度の急激な変化は無く、要求条件を満足していることを確認した。

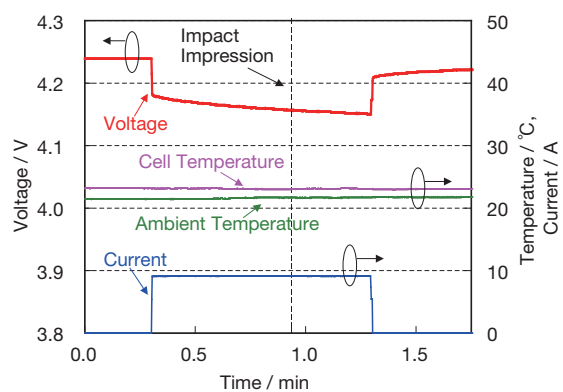


図13 パイロ衝撃試験 Z軸方向
Fig.13 Pyrotechnic Shock Test, Z-axis

打上げやタッチダウン運用の際、放電によってバッテリーのSOCが低下しているケースが想定されるため、FMセルを50% SOCに設定して同条件のパ

イロ衝撃試験を行った。

50% SOCのFMセルによる-Z軸のパイロ衝撃試験時の放電挙動を図14に示す。放電中の電圧、電流、温度の急激な変化は無く、要求条件を満足していることを確認した。

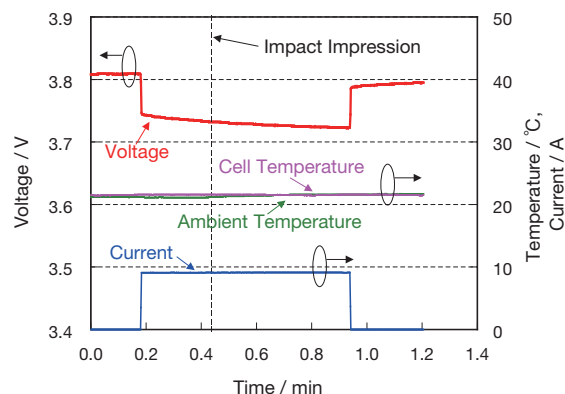


図14 50%SOCにおけるパイロ衝撃試験 Z軸方向
Fig.14 Pyrotechnic Shock Test in charged at 50%SOC, Z-axis

7.4 機械環境試験前後の充放電挙動

機械環境試験前後に充放電特性試験を実施し、ミッション要求の振動、衝撃がFMセルの充放電特性に与える影響の有無を調査した。充放電試験の結果を図15に示す。

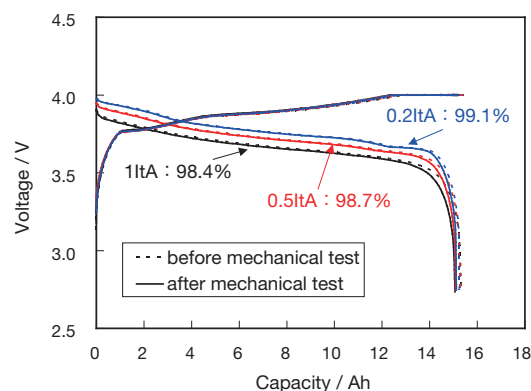


図15 機械環境試験前後の充放電挙動の比較
Fig.15 Charge-discharge behaviors before and after mechanical environmental test

試験前後の充放電曲線に明確な変化は観察されず、電池特性がダメージを受けなかったことが確認できた。

8. まとめ

「はやぶさ2」ミッションの要求条件からFMセルの運用パターンを検討し、容量劣化シミュレーションを作成した。ミッション終了までセーフホールドに必要な容量を保障する目処が得られた。

EMセルによる運用シミュレーション試験の推移は容量劣化シミュレーション予測に従い順調であり、打上げ運用を想定した模擬試験では、4.25V制御で充電する事、環境温度を20℃に設定する対策を併用する事で、打上げ時の予測容量と放電下限電圧に対しマージンを有する事が確認された。

製造したFMセルは13.2Ahの定格容量、590g以下の質量、ミッションの最大負荷において定格の90%以上の容量の目標を達成した。

過充電及び外部短絡試験の結果、破裂、発火、放圧弁作動、急激な温度上昇等の電池異常は見られず、FMセルが安全性要求を満足していることを確認した。

機械環境試験の結果、セル故障、異常発熱、電池電圧の異常は発現せず、FMセルがJAXA殿の『はやぶさ2搭載機器の耐環境性設計基準書』に定められたQTレベルの要求条件を満たすことを確認した。

9. 今後の予定

2013年3月、探査機搭載用として選抜した11個のFMセルをJAXA殿に完納した。FMセルは2013年夏以降にバッテリーとして組立てられ、地上での総合試験を経て、2014年度冬期に打上げられる予定である。

10. 謝辞

本研究開発は独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所殿、日本電気株式会社殿、NEC東芝スペースシステム株式会社殿の御指導の下で実施している。ここに、御指導、御協力を賜った関係各位に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 山本, 大登, 高椋, 酒井, 高橋, 廣瀬, 田島: 第18回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.47-50 (Feb 1999)
- 2) 大登, 高椋, 山本, 酒井, 高橋, 廣瀬, 田島: 第19回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.1-5 (Feb 2000)
- 3) 山本, 高椋, 大登, 酒井, FBテクニカルニュース, No.56, p.64 (2000)
- 4) 山本, 大登, 江黒, 高橋, 廣瀬, 田島: 第21回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.1-5 (Mar 2002)
- 5) 大登, 山本, 江黒, 曾根, 廣瀬, 田島: 第25回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.6-10 (Mar 2006)
- 6) 曾根, 鶴野, 川口, 廣瀬, 田島, 大登, 山本, 江黒, 吉田, 小川: 第26回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.6-10 (Mar 2007)
- 7) 大登, 大平, 山本, 江黒, 豊田, 鶴野, 廣瀬, 田島: 第27回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.11-15 (Mar 2008)
- 8) H.Ooto, K.Ohira, H.Toyota et al, Proc. of the '8th European Space Power Conference' (Sep 2008)
- 9) 大登, 大平, 山本, 井奈福, FBテクニカルニュース, No.64, p.19-25 (2008)
- 10) 大平, 大登, 山本, 江黒, 豊田, 鶴野, 廣瀬, 田島: 第28回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, pp.1-5 (Mar 2009)
- 11) 大平, 大登, 山本, 井奈福, FBテクニカルニュース, No.65, p.19-25 (2009)
- 12) 大登, 大平, 山本, 江黒, 豊田, 鶴野, 廣瀬, 田島: 第29回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集 (Mar 2010)
- 13) 大登, 大平, 山本, 井奈福, FBテクニカルニュース, No.66, p.36-41 (2011)
- 14) 大登, 大平, 山本, 江黒, 豊田, 鶴野, 廣瀬, 田島: 第30回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集 (Feb 2011)
- 15) 大登, 大平, 山本, 井奈福, FBテクニカルニュース, No.67, p.29-33 (2011)
- 16) 大登, 大平, 山本, 江黒, 豊田, 鶴野, 廣瀬, 田島: 第31回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集 (Feb 2012)

SBA G 0603 の改正 (蓄電池室－蓄電池設備に関する技術指針)

The Revision of SBA G 0603
Battery Room-Technical Guidance for Battery Systems

柴野 具文*
Tomobumi Shibano

1. 今回改正の趣旨

今回改正は、2001 年 11 月に本指針が改正されて 10 年が経過しており、JIS C 8702「小形制御弁式鉛蓄電池」、JIS C 8704「据置鉛蓄電池」他関連 JIS 規格及び SBA G 0401「規格票の作成指針」他関連 SBA 規格との整合を踏まえ、様式・用語の見直し、用語の統一を行うとともに、蓄電池室と蓄電池設備に対する内容を整理し、利便性を考慮した改正を行いました。

2. 改正の概要

2.1 引用規格

この指針に引用される規格を明記しました。

- ・ JIS C 8702 小形制御弁式鉛蓄電池
- ・ JIS C 8704 据置鉛蓄電池
- ・ JIS C 8706 据置ニッケル・カドミウムアルカリ蓄電池
- ・ JIS C 8709 シール形据置ニッケル・カドミウムアルカリ蓄電池
- ・ SBA S 0405 蓄電池用語

2.2 用語及び定義

この指針がより理解されやすいように、用語及び定義を追加しました。

追加した用語は、蓄電池室、架台式蓄電池設備、キュービクル式蓄電池設備、最小換気口面積、密閉反応効率、過充電、触媒反応、保有距離になります。

2.3 蓄電池室の一般要件

配線、照明、標識、給水の項目を新たに追加し、表現が判りづらい床の構造を蓄電池室の床、蓄電池室の位置を蓄電池室の設置階数と改正しました。

2.4 その他

その他の項目に蓄電池設備の設置場所と保有間距離の項目を記載しました。

2.5 換気方法

整流器からの発熱量計算式において、蓄電池からの発熱量計算式に使用する充電電流記号「 I 」と区別するために、定格電流記号を「 I_n 」に変更しました。

3. 審議中に問題となった項目

換気の必要性を明確にするために、充電中の水素ガスの発生や発熱による不具合を防止するための理由を追加し、換気方法には自然換気と機械換気があることを明確にしました。

* 産業機器生産統括部産業機器技術部

自動火災報知設備用予備電源（鑑定品）の変更について

About Change of the Standby Power Supply for Automatic Fire Information Equipment

当社の円筒密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池（コラム電池）は、主に火災報知設備用予備電源（以下「予備電源」という）として、停電などの非常時に電力を供給するバックアップ電源として使用されています。この予備電源は、従来「鑑定品」と呼ばれ、火災報知設備に係わる技術上の規格との適合性を判断するための型式適合評価に合格した蓄電池です。

消防法の一部を改正する法律等の施行に伴い、平成25年4月1日より、鑑定業務規定から受託評価業務規定へ変更となり、「鑑定品」が「受託評価適合品」となりました。これにより、型式番号の変更（鑑字第〇〇～〇〇号→品評字第〇〇～〇〇号）と、合格証票のデザインが新しくなりました。

現在、顧客が使用している設備には「予備電源には鑑定品を使用してください」などと表示されているため、鑑定品しか使用できないものとなっています。

鑑定品から受託評価適合品への更新をスムーズに行うため、定格銘板に「※従来の鑑定品と同等のものです。」と表示しました。


今回の施行による予備電源の構造及び性能についての変更はありませんので、従来の鑑定品と同様に受託評価適合品を使用できます。

受託評価適合品の一例

型式	容量 (Ah/5HR)	電圧 (V)	型式番号	当社形式
受信機用	0.225	24	品評字第24～3号	20-S201A
受信機用	0.45	24	品評字第12～14号	20-S101A
受信機用	1.2	24	品評字第12～6号	20-S113A
中継器用	1.65	24	品評字第12～10号	20-S104AT
中継器用	6	24	品評字第13～7号	20-S108AT
中継器用	10	24	品評字第14～2号	20-S127AT



受託評価適合品の外観

	△危険 漏液・発熱・破裂及び傷害などの原因となる場合がありますので次のことを守ってください。 ■予備電源を接続する際は、機器内部に記載してある種別、型式、定格電圧、許容放電電流が本予備電源と合致することを確認してください。指定以外の予備電源を接続しないでください。■加熱・火中投入・ハンダ付け・変形・分解・改造・チューブを剥がさないこと。■（＋）（－）を正しく接続すること。■電解液が目に入ったときは、きれいな流水で十分に洗った後、ただちに医師の治療を受けてください。■（＋）（－）を針金等の金属で接続しないこと。 ご使用済の節は捨てないで買い求め先にお渡しください。	種 別 予備電源 型 式 受信機用 0.45 Ah/5HR (密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池) 定格電圧 24V 許容放電電流 1.35A 型 式 番 号 品評字第12～14号 社 内 形 式 20-S101A ロ ッ ト 番 号 年製 FB 古河電池株式会社 ※従来の鑑定品と同等のものです。

定格銘板レイアウトの一例



新合格証票

産業機器事業本部 産業機器生産統括部
アルカリ電池部 電池技術グループ 鈴木由加

いわきー仙台間走破！ マグネシウム空気電池搭載トライク

The Trike Equipped with the Magnesium Air Battery Ran from Iwaki to Sendai

マグネシウム空気電池は、正極（空気極）に空気中の酸素、負極にマグネシウムを用いた一次電池です。電解液は一般的に、食塩水（または海水）を用います。マグネシウム空気電池の特徴は、①安全な材料で構成されていること、②マグネシウムは海水にも含まれており、日本国内でも採取可能であること、③理論エネルギー密度が高いこと、④電解液を入れなければ長期保存が可能であること、などです。

マグネシウム空気電池は、古くから研究された電池ですが、車載用として研究されたことは皆無に等しく、三輪電気自動車（トライク）に搭載、走行するためには、長時間安定に連続した放電が可能な空気極および走行中の振動でも漏液しないセル構造などの開発が必要でした。開発したマグネシウム空気電池は、表1に示す仕様を有し、走行には36個のマグネシウム空気電池を搭載しました。また、そのエネルギーは4kWhに上ります。

2012年12月、福島県いわき市にある当社いわき事業所から宮城県仙台市の東北経済産業局まで、雪のため通行不能な区間を除く約110kmを無事走破し、マグネシウム空気電池の実用化の可能性を示しました。

今後は、量産化製法の確立、材料の適正化によるコストダウン、長期間使用可能な耐久性及び出力向上など、さらなる性能向上を図り、早期の製品化を目指します。

表1 マグネシウム空気電池の仕様

単電池	10時間率定格容量 (25℃)		100 Ah
	寸法	高さ	250 mm
		長さ	200 mm
		幅	28 mm
組電池	直列数		36 cells
	公称総電圧		40 V
	エネルギー		4 kWh



図1 作製したマグネシウム空気電池



図2 実証試験に用いたトライクとプロジェクトメンバー

技術開発本部 開発部 伊藤彩乃

キャパシタ機能融合バッテリー ECHNO IS UltraBattery シリーズ

Capacitor Hybridized Battery ECHNO IS UltraBattery

2015年燃費基準に向け各自動車メーカーはアイドリングストップ車を次々に市場投入しています。当社は、このようなニーズに答えるため、2012年6月に発売したアイドリングストップ車専用バッテリーECHNO [エクノ] ISを発売しましたが、更に充電受け入れ性と寿命特性を向上させた電池ECHNO [エクノ] IS UltraBatteryを、アイドリングストップ車専用バッテリーとして2013年4月にアフターマーケット向けに発売しました。

1. 概要

世界初となる、鉛蓄電池とキャパシタ機能を融合したバッテリーです (UltraBattery テクノロジー)。この度、日刊自動車新聞 用品大賞 2013 バッテリー部門賞を受賞しました。

2. 特長

2.1 充電受け入れ性の向上

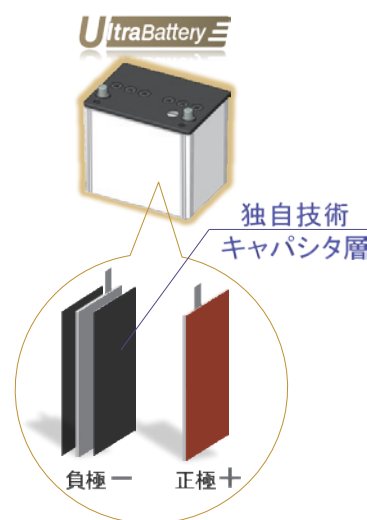
UltraBattery テクノロジーにより、充電の電気を効率よく電池が受け取ることで、充電受け入れ性が約30%向上しています。

2.2 長寿命

充電不足状態での使用でも、鉛蓄電池の寿命要因の一つであるサルフェーションを抑制するため、従来品より約2倍の寿命性能を有しています。また、正極格子合金には、耐食性、高温耐久性に優れるC21合金を採用しています。

2.3 長期補償

補償期間36ヶ月、または6万km (どちらかが早く到達するまで) という、国内メーカーでは最長 (2013年10月弊社調べ) となる補償をつけています。



UltraBattery テクノロジー



形式	電圧 (v)	5時間率容量 (Ah)	外形寸法 (mm)				液入質量 (約 kg)	アクセサリ
			総高	箱高	幅	長さ		
M-42	12	33	227	200	128	196	10.7	インジケータ 取っ手 防爆栓 取付年月日シール 端子保護キャップ
M-42R		33	227	200	128	196	10.7	
N-55		36	227	200	128	237	13.2	
Q-85		54	225	200	172	237	17.2	
S-95		64	225	200	172	259	19.7	

(自動車生産統括部 技術部)

古河電池株式会社

<http://www.furukawadenchi.co.jp/>

本社・支店

本 社	〒240-0006	横浜市保土ヶ谷区星川2-4-1（星川SFビル）	TEL.045-336-5034
東京事務所	〒141-0021	東京都品川区上大崎4-5-37（本多電機ビル3F）	TEL.03-3492-2971
北海道支店	〒003-0808	札幌市白石区菊水8条4-2-27	TEL.011-842-2931
東北支店	〒980-0803	仙台市青葉区国分町3-6-1（仙台パークビル8F）	TEL.022-224-1231
北陸支店	〒921-8171	金沢市富樫2-2-12（STビル2F）	TEL.076-281-6651
中部支店	〒461-0005	名古屋市東区東桜1-14-25（テレビアビル）	TEL.052-973-0791
関西支店	〒530-0004	大阪市北区堂島浜2-1-29（古河大阪ビル）	TEL.06-6344-0017
中国支店	〒730-0051	広島市中区大手町2-11-2（グランドビル大手町8F）	TEL.082-240-8001
四国支店	〒760-0023	高松市寿町1丁目1-12（パシフィックシティ高松5F）	TEL.087-811-5980
九州支店	〒810-0004	福岡市中央区渡辺通1-1-1（サンセルコビル7F）	TEL.092-762-8050

事業所・工場

今市事業所	〒321-2336	栃木県日光市荊沢字上原597	TEL.0288-22-3111
いわき事業所	〒972-8312	福島県いわき市常磐下船尾町杭出作23-6	TEL.0246-43-0080
エフビー工場	〒321-2331	栃木県日光市針貝字茅場1066-22	TEL.0288-26-8061
技術開発本部(いわき)	〒972-8312	福島県いわき市常磐下船尾町杭出作23-6	TEL.0246-44-6881
技術開発本部(今市)	〒321-2336	栃木県日光市荊沢字上原597	TEL.0288-21-3179



<http://www.furukawadenchi.co.jp/>