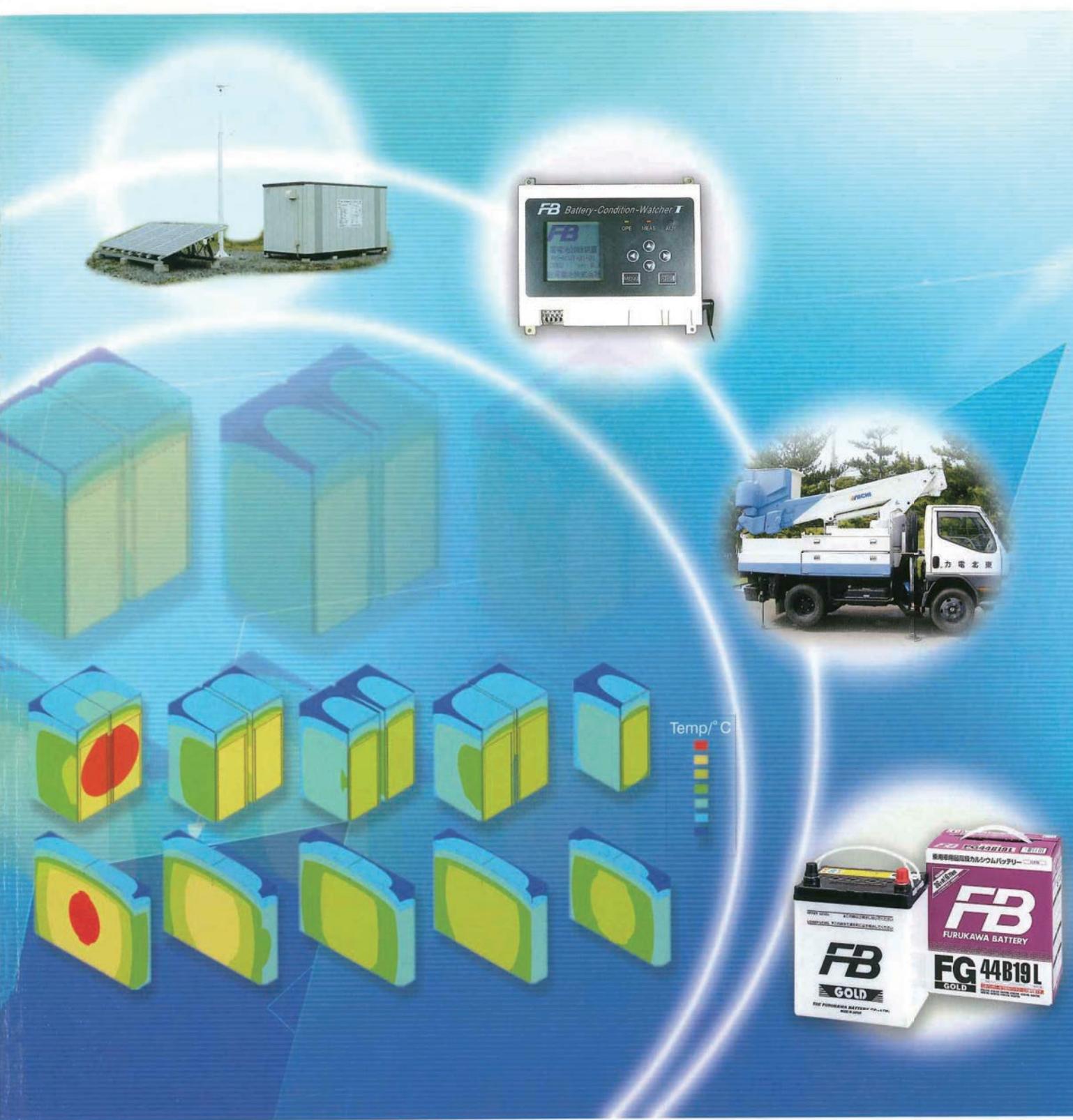


**FB**

2002.11  
No. 58

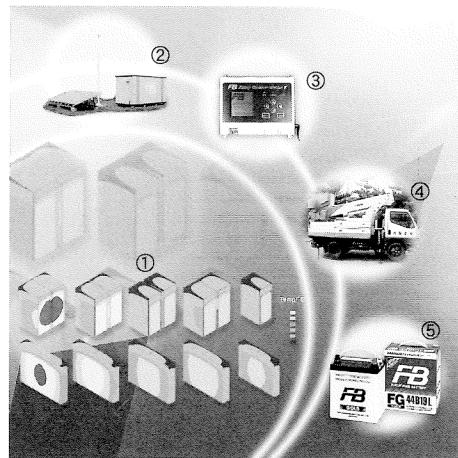
# テクニカルニュース



**FB**

古河電池株式会社

## 表紙の写真説明



- ① サーマルマネジメントと温度分布
- ② 太陽光・風力発電システム
- ③ 蓄電池診断装置のシステムコントローラ
- ④ ニッケル・水素電源システム搭載型高所作業車
- ⑤ C-21特殊合金を採用したGOLDシリーズ

## FBテクニカルニュース No.58号

2002年(平成14年)11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 志賀 章二

編集委員 内田 榮市, 緒方 有二, 酒井 茂

富田 行雄, 本間 正志, 三柳 弘

湯沢 修

非買品（無断転載を禁じます）

\*お問い合わせは、営業推進部（☎045-336-5078）までお願い致します。

## 目 次

### 巻頭言

次世代自動車の姿 .....	齋藤武雄 .....	1
----------------	------------	---

### 報文

42V システム用 36V-VRLA 電池とサーマルマネジメントの開発 .....	古川 淳, 坂本 光, 飯塚博幸 .....	3
交流インピーダンス測定による鉛電池正極活物質構造の解析 ....	小宮山亮二, 阿部英俊 .....	9
正極格子界面腐食層の劣化挙動について .....	曾我部幸蔵, 古川 淳 .....	14
VRLA 電池設計への CAE の適用検討 .....	飯塚博幸 .....	19
リチウムイオンポリマーゲル電池の開発 .....	山本真裕, 吉田浩之, 大登裕樹, 江黒高志, 輪谷耕二 .....	25
宇宙用 Ni-MH セルと火星探査機「のぞみ」での運用 .....	岩淵剛志, 井奈福浩之, 石川幸嗣 .....	31
配電工事高所作業車用ニッケル・水素電源システムの開発 .....	江黒高志, 白井 隆 .....	38
蓄電池診断装置の開発 .....	高橋 清, 渡壁雄一 .....	44

### 技術解説

電池の輸送安全について .....	富田行雄 .....	51
-------------------	------------	----

### トピックス

サイアム・フルカワ社 (SFC) の今後の事業展開 .....	徳山勝敏 .....	56
太陽光・風力発電システムの設置 .....	籾本俊昭 .....	57
補修市場向け自動車用バッテリーのフルモデルチェンジ .....	緒方有二 .....	58
FVH-50-12 形蓄電池搭載 UPS を納入 .....	向 保則 .....	60
東急 5000 系車に MT 形電池を納入 .....	久野昌隆 .....	61

### 新商品紹介

FVH シリーズに FVH-50-12 形を追加 .....	62
高効率スイッチングユニット .....	64
高効率形 UPS “フルパワー AL シリーズ” .....	66
農業機械・建設機械対応乗用車用電池 FX シリーズ .....	67

### 製品紹介

長寿命形制御弁式据置鉛蓄電池 (FVL シリーズ) .....	68
鉄道車両用バッテリー (MT シリーズ) .....	69

# FB

# Technical News

No.58 2002. 11

---

## Contents

### Opening Remarks

Toward the Next Generation of Vehicles .....	Takeo Saitoh .....	1
--	--------------------	---

### Technical Papers

Development of 36V-VRLA Batteries with Thermal Management for the 42V System .....	Jun Furukawa, Hikaru Sakamoto, Hiroyuki Iizuka .....	3
AC Impedance Measurement for the Structure of Positive Active Materials of Lead-Acid Batteries .....	Ryoji Komiya, Hidetoshi Abe .....	9
Micro-Scopic Structure of Positive Grid/PAM Interface and its Degradation Behavior in Lead-Acid Battery .....	Kouzou Sogabe, Jun Furukawa .....	14
Application of CAE for VRLA Battery Design .....	Hiroyuki Iizuka .....	19
Development of Li Ion Polymer Gel Battery .....	Masahiro Yamamoto, Hiroyuki Yoshida, Hiroki Ooto, Takashi Eguro, Kouji Hataya .....	25
On-Orbit Operations of Ni-MH Cells for Space Applications .....	Takashi Iwabuchi, Hiroyuki Inafuku, Yukitsugu Ishikawa .....	31
Development of a Ni-MH Energy Storage System of Aerial Lift Vehicles for Construction of Electrical Distribution Lines .....	Takashi Eguro, Takashi Shirai .....	38
Development of SOH Monitoring System for Industrial VRLA Battery String .....	Kiyoshi Takahashi, Yuichi Watake .....	44

### Technological Analysis

Safe Transportation of Batteries .....	Yukio Tomita .....	51
--	--------------------	----

### Topics

Business development of SIAM FURUKAWA CO., LTD. .....	Katsutoshi Tokuyama .....	56
Solar and Wind Power System .....	Toshiaki Yabumoto .....	57
Full Model Change of Automotive Batteries for Replacement Market .....	Yuji Ogata .....	58
Delivery of a Newly Developed UPS Equipped with FVH-50-12 Batteries .....	Yasunori Mukai .....	60
Delivery of MT Batteries to the 5000-Series Railway Car of Tokyu .....	Masataka Hisano .....	61

### New Products

Addition of FVH-50-12 Type to the FVH Series .....	62
A High-Efficiency Switching Unit .....	64
High-Efficiency UPS "Furupower AL-Series" .....	66
FX-Series Car Batteries Applicable to Agricultural and Construction Machines .....	67

### Products

Valve-Regulated Stationary Lead Acid Battery of Long-Life Type .....	68
MT-Series Train Battery .....	69

## 次世代自動車の姿

### Toward the Next Generation Vehicles

東北大学大学院  
工学研究科教授

齋藤 武雄  
Takeo Saitoh



1886 年、ダイムラーとベンツが人類初のガソリン自動車を発明してから 116 年、いまや、この地球上は 7 億台を超える車で溢れかえっている。まさに、車社会が定着した。米国政府エネルギー省のスペンサーブラハムは、2050 年の世界の車台数を 35 億台と予想している。

このようなグローバルな車社会の到来とは裏腹に、車による深刻な環境およびエネルギー問題が顕在化してきた。すなわち、車からの排出が 30% を占めるといわれる二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) による地球温暖化と都市における熱汚染であるヒートアイランド（都市温暖化）、それに  $\text{NO}_2$  などの大気汚染などである。また、同時に、資源・エネルギーの観点から見ると、化石燃料の枯渇を早めるという大きな問題を孕んでいる。このままでいけば、早晚、車は少なくとも都市中心部から駆逐されかねない宿命にあるとみてよい。自動車といえども、もはや、環境の壁を避けて通れないものである。

そこで、本稿では、21 世紀の自動車のあるべき姿を展望してみたい。

いま、世の中は、次世代エンジン（エネルギー変換器）として燃料電池が脚光を浴びている。連日マスコミ等で取り上げられ、あすにでも街を走る車が燃料電池車に置き換わるような錯覚に陥ってはいないだろうか？

筆者の研究室でも、燃料電池について 3 年間、研究・開発調査を行なってきたが、それによると、物事はそう単純ではなく、燃料電池の辿る道のりは、決して平坦なものではないと推測できる。勿論、有望であるこ

とに変わりはなく、いつかは登場する（3 台に 1 台の割合で普及するのには恐らく 30 年以上かかる）ことになることは論を待たない。だが、オリンピックの全種目で金メダルを取れる選手がいないように、燃料電池も万能選手ではないのである。ここが、致命的な問題であるといえる。

燃料電池の 3 大特長は、1) 水素を燃料として投入するため  $\text{CO}_2$  の排出がなく地球温暖化防止に貢献できること、2) 熱効率（変換効率）が高いこと、3) 騒音・振動が少ないこと、である。いずれも環境最優先時代である 21 世紀にうってつけのポジティブな利点である。

これだけみれば、マスコミが騒ぐようにいいことずくめで、めでたし、めでたしで終わるが、現実は、そう甘いものではなく、燃料電池がものになるかどうか、まったく予断を許さない難関が立ちふさがっている。

まず、燃料の水素であるが、これは自然界には存在せず、他の燃料、たとえば、化石燃料などから造るしか術がない。この過程が改質であるが、この効率は、8 割くらいあまり高いとはいえない。すなわち、この時点で  $\text{CO}_2$  を出してしまう。また、改質工程は複雑で、かなりのエネルギーを消費する。さらに、折角水素を造ってそれを貯蔵するのが難しい。ガスでは嵩張るかきばし、液体水素にするのには、またエネルギーを消費する。

第 2 の難関は、効率である。いまのところ、燃料電池の効率は高いとされ、これがガソリンやディーゼル機関を凌駕するとされているが、実際には改質や運転のための補機動力が大変大きく、折角の高効率特性を

著者略歴： 齋藤武雄 1971 年東北大学大学院工学研究科博士課程終了、工学博士。75 年東北大学工学部助教授、82 年米国コロラド州立大学太陽エネルギー応用研究所客員研究員、88 年東北大学工学部教授。経済産業省東北経済産業局「東北地域総合エネルギー対策推進会議」議長、国際エネルギー財団 (IEF) アジアーパシフィック地域代表、日本太陽エネルギー学会会長などを歴任。87 年日本冷凍協会賞（学術賞）、98 年 ENERGEX-98 Best Research Paper Award、00 年 Pioneer in Renewable Energy Awardなどを多数受賞。主著：「地球と都市の温暖化」森北出版 (92), 「移動境界伝熱学」養賢堂 (94), 「ヒートアイランド」講談社 (97) など。

# 卷頭言

## 次世代自動車の姿

減じてしまう。将来、燃料電池単体の効率が50%に達しても、これら補機動力・改質などの余分なエネルギーロスを差し引けば、効率は、せいぜい、35～37%どまりであろう。現在、すでにガソリンエンジンの効率は36%，ディーゼルでは40%を超えるから、燃料電池車が普及する20～30年後は、これら従来型エンジンはさらに進化を遂げ、40～50%に到達する可能性が高く、燃料電池単体では、到底太刀打ちできない。 $\text{CO}_2$ を出さないことを重視するのであれば、燃料に水素を投入すれば事足りるので、なにも燃料電池は要らないともいえるから始末が悪い。

第3の難関は、コストと耐久性の問題である。恐らくこれが最大の難関である。

燃料電池の仕組みは、水素を陰極に送り込み、触媒作用を使って、水素イオン（陽子あるいはプロトンとも呼ぶ）に変え、電子を放出し、これが陽極に向かって回路を流れる時に直流電流が発生するメカニズムである。2つの電極の間には、陽子交換膜（PEM）がある。これは、固体高分子膜ともいわれる重要な膜である。なお、触媒には、通常、白金が使われる。さて、肝心のこの膜であるが、いまのところ非常に高価であることと、耐久性に大きな問題がある。コストの点は、日本が得意である量産化により早晚解決するとして、問題は耐久性である。車は、清浄な空気の郊外を走るだけでなく、大都市の市街地も走る。しかし、そこは、汚染物質( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ )や浮遊粒子状物質(PM)の濃度が高く、これが膜の劣化を10倍以上早める。それ以外に化学反応器としての劣化もある。タクシーのような営業車では、年間10万kmも走行するから膜は1年でダメになる。現在のエンジンは、50万kmくらいはもつから、耐久性という点では全く敵わない。

そのほか、あまり指摘されていないようであるが、根本的な問題として、凍結の問題がある。燃料電池は本質的に水素と酸素の反応器であるから、多量に水を生成する。寒冷地では、これが凍結する。これは、隠れた大問題であるのだ。

以上、燃料電池の主な課題・問題点を挙げたが、それでは燃料電池が生き残る可能性はないのだろうか？

確かに、ガソリンエンジンなどに較べると、燃料電池は、新参者で、100年以上の遅れをとっていること

は否めない。成人と赤ん坊のようなものだ。しかし、よちよち歩きの赤ん坊だって育て方次第では、偉人になることだってある。

選択にあたって一番大切な基準は、本質的に $\text{CO}_2$ や排熱を出さないことである。この観点からすれば、燃料電池は合格である。しかし、いまのままの燃料電池システムでは落第であるということだ。

そこで、最後に、抜本的に改善する方途を伝授しておこう。(T. S. Saitoh: Pat. Pending)

前に述べたように、燃料電池単体では、効率も悪く、また、耐久性も不十分で、展望が拓けない。そこで、徹底したカスケーディングと複合化・多機能化を施すことである。

まず、燃料電池からの排熱（将来は130℃）と生成水を用いて全く新しいコンセプト(Concept of Superposition)の蒸気タービンを回す。これにより、約20%の動力回収が出来る（カスケーディング）。

次に、エネルギー貯蔵器を開発する。これには、高性能バッテリーやフライホイール、スーパーキャパシターなどが適する。オンボードで燃料から改質して水素を造るのではなく、深夜電力（できれば太陽電池から）などをバッテリーやフライホイールに貯えれば、これだけで、最低150kmは走行できる。これは、極めて重要な要素だ。21世紀は、ある意味では、バッテリーを含むエネルギー貯蔵の時代ともいえる。

もうひとつ、20～30年後を見据えて鳥瞰すると、自動車といえども、太陽電池や太陽熱発電(Thermal electric)を積極的に利用することである。ルーフやトランク、リアウインドウなどに貼り付けることにより、 $3\sim 5\text{m}^2$ の太陽電池が設置できる。これにより、うまく車体を設計すれば、年間6000kmも走れる。（日射量：3.7kWh/日・ $\text{m}^2$ 、発電効率：15%として）

最後に、21世紀中庸以降は、確実に化石燃料枯渇の側面が顕れてくる。その時代、水素は、太陽・風力などの再生可能エネルギー源やバイオマスなどからしか採れない。究極的には、車は、太陽エネルギーで走る時代が必ず到来するのである。

このような新しい時代の先端分野での古河電池の役割は益々増大するであろう。

21世紀の大いなる発展を切に期待して筆を擱く。

# 42V システム用 36V-VRLA 電池とサーマルマネジメントの開発

## Development of 36V-VRLA Batteries with Thermal Management for the 42V System

古川 淳<sup>\*1</sup>

Jun Furukawa

坂本 光<sup>\*1</sup>

Hikaru Sakamoto

飯塚 博幸<sup>\*2</sup>

Hiroyuki Iizuka

### Abstract

Development of 42V powernet system was initiated by the increasing demand of electric power in 90's and now it has been enhanced to a type of hybrid electric vehicle systems (HEV's) such as a mild hybrid which is enabling to meet with the increasing requirement of fuel economy, safety and comfort. 36V-VRLA (valve-regulated lead-acid) batteries were developed with the required high level of discharge power, regenerative power and life-span. Accelerated cycle tests simulating a driving mode of a mild hybrid were conducted, which showed one of major life-limiting factors was heat generation and resulting temperature rise, so that three types of thermal management techniques were designed and tested. They were 18V-split and 36V-monoblocks equipped with either convection channel or heat pipe & fin, which were tested in comparison with the conventional 36V-monoblock. It was demonstrated that effective thermal management techniques could substantially extend battery life in practical senses.

## 1. はじめに

### 1.1 42V システム化の背景

自動車の 42V システム化の研究は、①「電動化による要求電力量の増加」に対応する事を目的として 1990 年代半ばに開始され、②「ハイブリッド化による燃費向上と排出ガスの削減」として発展している。①の電動化により、従来油圧やタイミングベルトで機械的に駆動していたパワーステアリング、ブレーキ、サスペンション、エンジンバルブなどを電気駆動とすることによりエンジンを走行に特化させるとともに、高度な制御により燃費の向上を可能にし、さらに電気加熱式触媒やフロントガラスの急速霜取りなどの新装備を取り入れて利便性の向上を図ることができる<sup>1)</sup>。その反面、要求電力量は従来の最大 2kW 程度から 3 ~ 7kW と大幅に増加して強力なジェネレータ（発電機）が必要となり、スタータ

とジェネレータを統合した ISG (Integrated Starter Generator) の研究も同時に開始された<sup>2)</sup>。ISG により、マイルドなハイブリッドシステム<sup>3)</sup> が可能となり、②へと発展した。すなわち、アイドルストップ後のエンジン始動と加速アシスト、そして制動時のエネルギー回生による燃費向上と排出ガスの削減を行う<sup>4)</sup>。そして、この機能の実現には高性能な 36V-VRLA 電池の開発が不可欠である。現在、米国 MIT が「42V PowerNet」のコンソーシアムを結成して世界的な活動を広げ、また欧州では「42V Bordnetz」が研究フォーラムを開催している。日本でも電気学会が「42V 電源化専門委員会」を、また自動車技術会が「42V 分科会」を発足して活動を強化している。このように世界的な 42V 化の流れの中で、環境対策の目玉として自動車メーカーや部品メーカーで実用化が進められている。

<sup>\*1</sup> MV チーム

<sup>\*2</sup> NP チーム

### 1.2 42V システムの将来

'01 年 8 月、世界最初の 42V システム車が国内メーカーから発売され世界中の注目を集めめた<sup>5, 6)</sup>。また、'02 年秋に次の 42V システム車が、そして '03 年には欧州製 42V システム車が登場すると見られている。この様に 42V システム車は徐々に浸透し、'05 年～'10 年にかけて本格的普及が見込まれている<sup>7)</sup>。一方、100V 又は 200V 以上と高電圧の本格的なハイブリッドシステムを採用して非常に優れた燃費を実現した車は 42V システム車よりも一足早く発売され、販売台数も着実に増加している<sup>8, 9, 10)</sup>。このシステムは主にニッケル水素電池<sup>11, 12)</sup>を採用しているが、一方でマンガン系 Li 電池<sup>13)</sup>の検討も進んでいる。これらのハイブリッドシステムはパワーアシストをはじめとする大電力負荷に、より広範囲に対応できると共に、高いエネルギー回生能力も併せ持つており、42V システムと比較して省燃費効果が大きい。しかし、コスト高の問題もあるのでこのジレンマを解消する試みとして、42V システムで 36V-VRLA 電池と電気二重層キャパシタの組み合わせが提案されている<sup>14)</sup>。これはキャパシタの優れた回生充電性能の活用が狙いであり、次世代技術として注目される。これらの様々なハイブリッドシステムは将来、電圧と機能、そして価格帯に応じて複数のカテゴリーに棲み分けが進むと見られる<sup>3)</sup>。しかし、その過程で電池を始めとする主要部品の性能向上とコストダウンは確実に進み、'05 ～ '10 年に低コストの 42V システム車の実用化が大きく進展すると予想される。

### 2. 36V-VRLA 電池の開発

マイルドハイブリッドシステムでは、アイドルストップ後のエンジン始動と加速アシスト、制動時のエネルギー回生、そして長寿命などの性能を PSOC (Partial State Of Charge) で満足する 36V-VRLA 電池が求められる。すなわち、低い内部抵抗と高出力、良好な可逆性と充電受入れ性、そして高いキャパシティーチャージオーバー（総放電量）とサイクル寿命が求められ、そのためには、負極、正極、セパレータ、電解液などあらゆる要素について改良を行う必要がある。これらの関係を図 1 に示す。

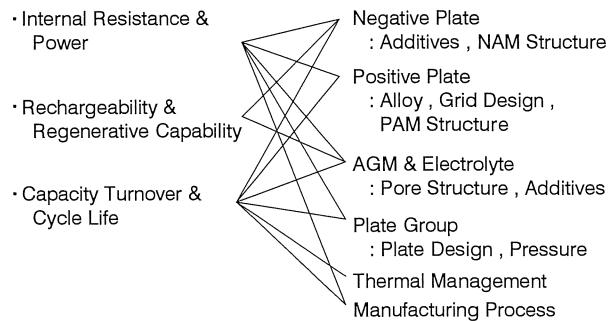


図 1 36V-VRLA 電池の性能及び寿命改善策  
Fig.1 Strategy for Performance and life span upgrading of 36V-VRLA

この様な開発を行った結果、図 2 に示すような優れた出力特性と回生入力特性を実現した<sup>15)</sup>。

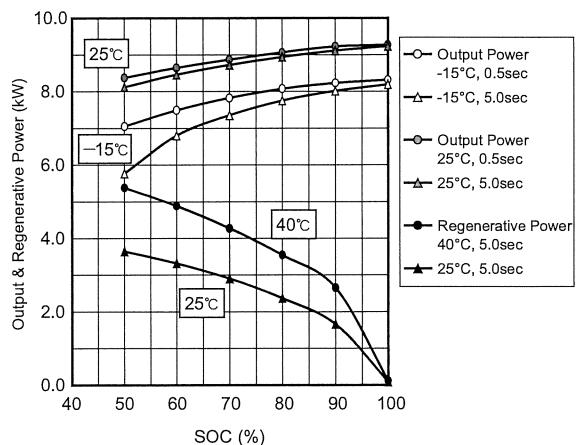


図 2 出力及び回生入力特性  
Fig.2 Characteristics of output and regenerative power

なお、この電池は JIS の D26 サイズであり、容量は 18Ah である。また、マイルドハイブリッド車の走行パターンを模擬した図 3 の PSOC の加速寿命試験では、標準の VRLA 電池やフラッデッド電池と比較して 3 倍から 5 倍の長寿命であることが確認された。

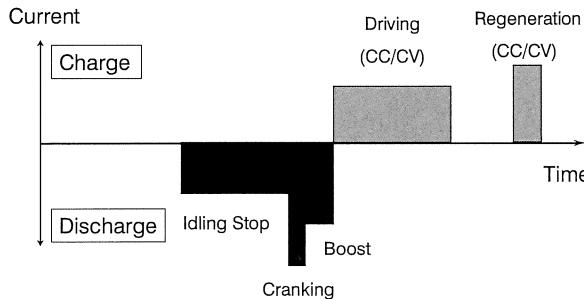


図3 PSOC 加速寿命試験パターン  
Fig.3 PSOC accelerated life span test pattern

### 3. サーマルマネジメント (TM) の開発<sup>15,16)</sup>

#### 3.1 PSOC 加速寿命試験における電池の発熱

上記の36V-VRLA電池の開発では、まず要素技術の開発を2Vセルで行い、その成果を36Vを二分割した形状の18Vと36Vモノブロック電池に展開した。このようにセル数を増やして行く過程で、PSOC 加速寿命試験時の電池の発熱による温度上昇が顕著となり、サーマルマネジメントの必要性が明らかとなつた。PSOC 加速寿命試験は図3の充放電パターンからなるテスト-1 とこれよりも1サイクル当たりの発熱量が大きくなるようにしたテスト-2の2通りで行った。何れも試験開始時の電池のSOCは75%とした。ここで、2Vセル、18V及び36VモノブロックのVRLA電池を用いてテスト-2でPSOC 加速寿命試験を行い、電池表面の温度と寿命の関係を調べた。その結果は図4に示す通りで、電池表面温度の上昇と共に急速に寿命が短くなつた。また、18Vと

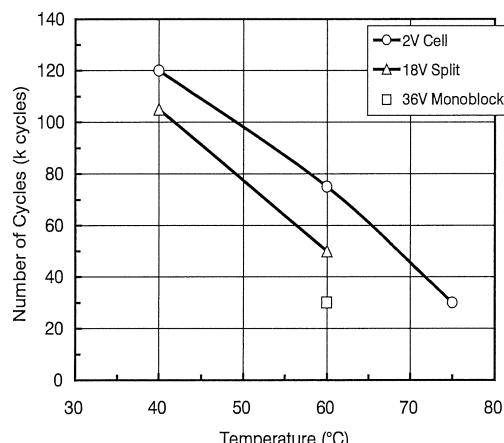


図4 電池形状、温度とサイクル寿命性能  
Fig.4 Cycle life performance : influence of configuration and temperature

36V電池では寿命に1.5倍以上の開きがあり、形状の影響が顕著に現れた。

次に、36Vモノブロック電池を用いてこれら二つの条件で加速寿命試験を行い、サイクル経過に伴う電池表面と内部の温度変化を測定した。最も温度が高くなった電池中央の5セル目の表面と内部の温度変化を図5に示す。

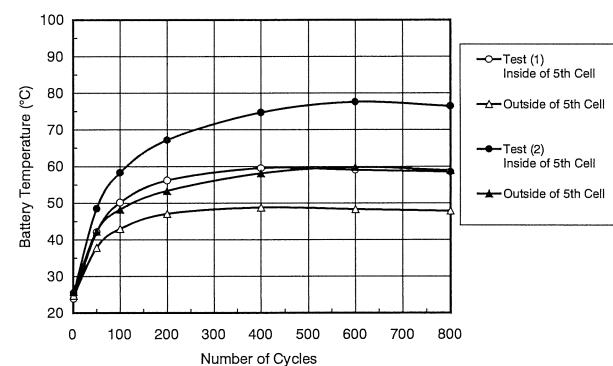


図5 加速寿命試験時の36Vモノブロックの温度  
Fig.5 Temperature measurement of 36V monoblock under accelerated cycle test

36Vモノブロック電池の温度は、表面と比べて電池内部が20°C近く高くなることが分かった。なお、2Vセルでは表面と内部の温度差は5°C以下であった。また、この試験による発熱量は簡易カロリメーターによる測定と充放電時の分極からテスト-1で約40W、テスト-2では約70Wと見積もられた。試験はPSOCで行ったため、正極からのガス発生と負極での再結合反応が起こりにくいこと、並びに充電と放電の電気量がほぼ等しくそれぞれの反応熱が相殺されることから、大半は導体抵抗や液抵抗によるジュール熱と考えられる。このように電池内部の温度上昇が寿命に大きな影響を与えていたため、3.2の3通りの方法で電池のサーマルマネジメント（以下TM）を試みた。ここではテスト-1の加速寿命試験時の電池表面と内部温度を実測し、その結果を基にコンピュータシミュレーションで電池全体の温度分布を求め、TMの効果を比較した。

### 3.2 サーマルマネジメント (TM) の方法

3通りの TM と電池の外観を図 6 に、電池表面と内部の温度分布を図 7 にそれぞれ示す。なお、図 7 の横軸の数字は電池内のセルの位置を表している。図 8 はこの時の温度分布をビジュアル化したものである。

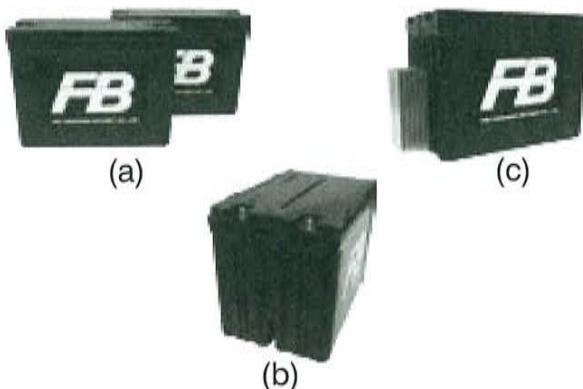


図 6 サーマルマネジメントと電池形状  
Fig.6 Thermal management and battery configurations ;  
(a) 18V split, (b) Convection channel (CC), and  
(c) Flat heat pipe and fin (HPF)

#### 3.2.1 18V スプリット電池

18V スプリット電池は図 6 (a) の通り 36V モノブロック電池を縦に二分割した形状である。図 7、図 8 で示したように、36V モノブロック電池は内部が非常に高温になり、中央と端に位置するセルの温度差も大きい。一方、18V スプリット電池は、表面積が広いために放熱し易く、全体に温度が下がるとともに、セルごとのばらつきも抑えられることが分かった。

#### 3.2.2 コンベクションチャンネル (CC)

対流用の経路、コンベクションチャンネルを設けた 36V モノブロック電池の写真を図 6 (b) に示す。この電槽正面の豊穴と電槽の蓋にある穴は内部でつながっており、対流で内部の熱を逃がす。コンピュータシミュレーションではチャンネルの幅を広げるに従い温度上昇は抑制されたが、10mm 以上では徐々に効果が飽和した。また、電池を従来の D サイズに収める場合、チャンネルの幅を広げることによって電極の体積が減り、容量の確保が難しくなる。その

ためチャンネルの幅は 10mm 程度が適当と考えられる。このようにチャンネルの幅を 10mm に固定し、自然対流による場合と毎秒 1m の強制対流を行った場合の温度分布を図 7、図 8 に示した。強制対流は電槽の蓋に設けた穴から風を送り込み、風速は入り口付近で測定した値である。強制対流では 18V スプリット電池に近い温度が得られた。また、自然対流でも放熱効果が認められた。

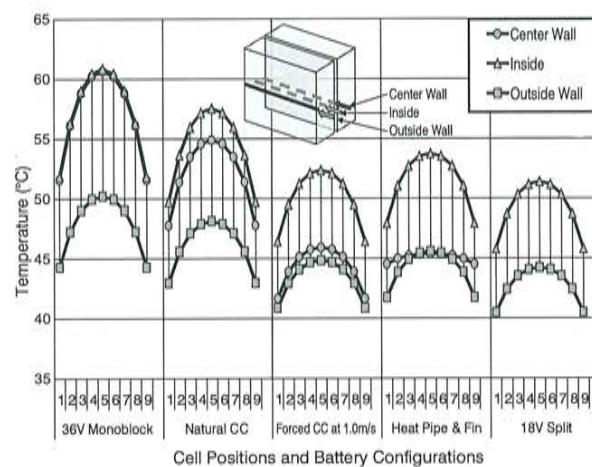


図 7 サーマルマネジメントと温度分布  
Fig.7 Temperature distribution with and without thermal manegement

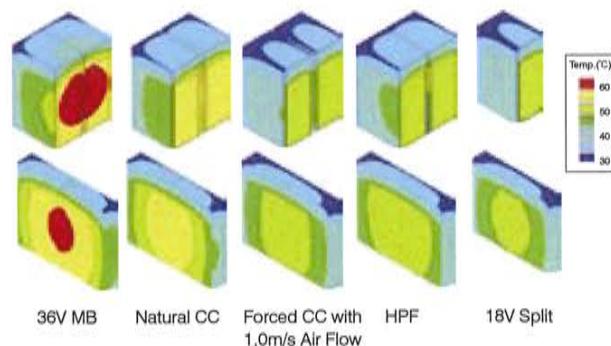


図 8 サーマルマネジメントと温度分布  
Fig.8 Temperature distribution with and without thermal manegement; representation of Visual View Graph

#### 3.2.3 ヒートパイプフィン (HPF)

古河電工が開発したフラットヒートパイプ<sup>17)</sup>とフィンを装着した 36V モノブロック電池の写真を図 6 (c) に示す。ヒートパイプはフィンと電槽に挟まれて、写真では電池中央に隠れている。ここで用いたフィンはアルミニウムの押し出し加工によって製造され

たものである。また、ヒートパイプのケースも、アルミニウムの押し出し加工で製造された、マルチチャンネルドフラットチューブを用いている。このフラットチューブの厚みは1.9mmと非常に薄い。また、ヒートパイプ中で熱を移送する作動流体には、非フロン系の物質を用いている。図7、8に示した通り、ヒートパイプフィンは18Vスプリット電池や強制対流と同程度に温度上昇を抑える効果があった。また、中央の壁面は接觸しているヒートパイプの熱伝導率が高いため、各セルの温度分布がより均一になった。

### 3.3 TMによる寿命改善効果

以上の3通りのTMを適用した36V-VRLA電池のテスト-2による加速寿命試験結果を図9に示す。

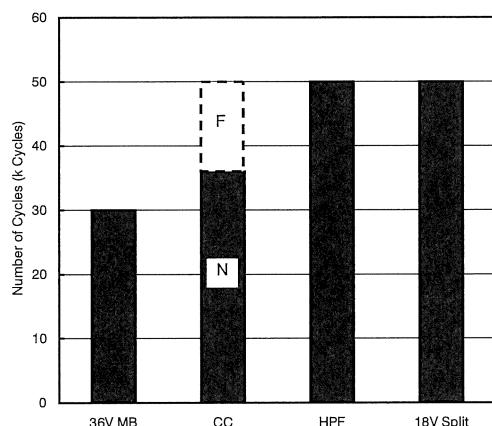


図9 36V-VRLA電池の寿命性能  
Fig.9 Cycle life performance of 36V VRLA

強制対流を行ったコンベクションチャンネルとヒートパイプフィンは18Vスプリット電池と同様、36Vモノブロック電池と比較して50%以上の寿命改善効果が得られた。また、自然対流によるコンベクションチャンネルでも36Vモノブロック電池より20%改善された。

### 4. ライフサイクルアセスメント (LCA)

ここで42Vシステム化の目的の一つである排出ガスの削減と言う観点から、これまでに提案した36V-VRLA電池のライフサイクルアセスメントを行った<sup>18)</sup>。ここでは、鉛の精錬、電池の製造、部品の製造、

そして電池を車に搭載して10年間で10万km走行する時に発生する炭酸ガスの量を試算し評価した。結果を図10に示す。

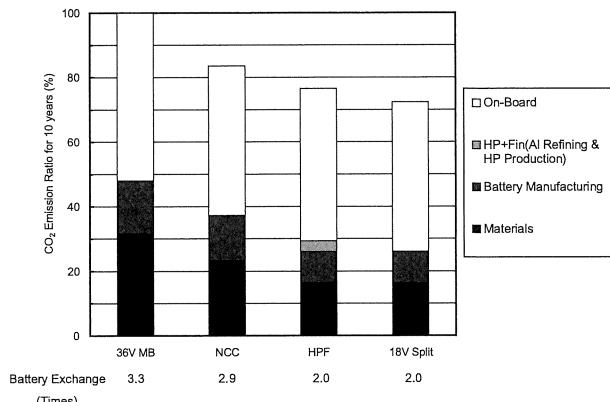


図10 36V-VRLA電池のライフサイクルアセスメント  
Fig.10 Life cycle assessment of 36V VRLA

ここではTM技術による電池寿命の延長で電池の交換回数を削減できることが最も大きな効果となっている。また、TM技術を適用した36V-VRLA電池はどれも放熱に必要なスペースを確保した結果、36Vモノブロック電池と比較して約10%軽量化されており、これも車両走行時に炭酸ガス削減効果となる。LCAでもヒートパイプフィンと18Vスプリット電池は優れていたが、ヒートパイプフィンはアルミの精錬と部品製造で発生する炭酸ガスの分だけ18Vスプリット電池に劣る結果となった。

### 5.まとめ

- 1) 優れた放電性能、回生充電性能、および寿命性能を有する36V-VRLA電池を開発した。
- 2) 36V-VRLA電池の温度は寿命に大きな影響を及ぼした。そこで、新たに開発した3通りのTM、すなわち、①18Vスプリット、②ヒートパイプフィン、および③コンベクションチャンネル、の適用で①と②は寿命性能を50%以上、また③でも20%改善することができた。
- 3) LCAによりTM技術が炭酸ガス排出量の削減に貢献し、その中でも18Vスプリットは最も優れており、ヒートパイプフィンはこれに次ぐことを示した。

# 報文

## 42V システム用 36V-VRLA 電池とサーマルマネジメントの開発

36V-VRLA 電池を搭載する場所には、エンジンルーム、車室内の座席の下、トランクルーム、など様々なケースが考えられる。今後はそれぞれの搭載状態に最適なサーマルマネジメントを開発し、自動車メーカーに提案して行く所存である。

### 謝辞

最後に、本開発で実験に使用したヒートパイプ及びフィンの設計と試作において多大なご協力を頂いた、古河電気工業株式会社、環境・エネルギー研究所の山本雅章氏と志村隆広氏、並びに軽金属カンパニー、アルミ加工製品部の秀野晃氏に深く感謝致します。

### (参考文献)

- 1) 志賀恒男, TOYOTA Technical Review, **49**, No.2, 8 (1999)
- 2) Rainer Knorr, Hans-Michael Graf, Peter Skotzek, 1<sup>st</sup> AABC, February 2001, Las Vegas
- 3) Tatsuo Teratani, MIT Consortium, October 2000, Nagoya
- 4) 寺谷達夫, 倉持耕治朗, 中尾初男, 堀井欽吾, 稲吉龍泰, 水谷浩市, TOYOTA Technical Review, **50**, No.1, 26 (2000)
- 5) 立花武, 寺谷達夫, 安保正治, 八木克典, 濱田公守, 自動車技術会春季大会, 42V フォーラム予稿, p.1, 2002 年 7 月, 横浜
- 6) 山口耕平, 藤本直生, 山口昌宏, 山中健司, 大前孝夫, 自動車技術会春季大会, 42V フォーラム予稿, p.16, 2002 年 7 月, 横浜
- 7) Philip Gott, 2<sup>nd</sup> AABC, February 2002, Las Vegas
- 8) 阿部眞一, 小谷武史, 萩木隆次, 戸島和夫, 社本純和, 酒井朗, TOYOTA Technical Review, **47**, No.2, 50 (1997)
- 9) Keiichi Yamamoto, MIT Consortium, October 2000, Nagoya
- 10) 佐藤浩光, 自動車技術会シンポジウム, 予稿, 2002 年 5 月, 東京
- 11) Toshiyuki Sekimori, 1<sup>st</sup> Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 12) Noboru Sato, 1<sup>st</sup> Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 13) Takeshi Miyama, 1<sup>st</sup> Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 14) Hartmut Michel, MIT Consortium, June 2002, Kyoto
- 15) Jun Furukawa, Hikaru Sakamoto, Hiroyuki Iizuka, Hitoshi Sho, Keiji Mashimo, 2<sup>nd</sup> Advanced Automotive Battery Conf., February 2002, Las Vegas
- 16) Hiroyuki Iizuka, Hikaru Sakamoto, Jun Furukawa, Masaaki Yamamoto, Takahiro Shimura, MIT Consortium, June 2002, Kyoto
- 17) 志村隆広, 榎本久男, 尚 仁, 中村芳雄, 古河電工時報, No.106, 11 (2000)
- 18) 竹島修平, FB テクニカルニュース, No.57, 3 (2001)

# 交流インピーダンス測定による鉛電池正極活物質構造の解析

## AC Impedance Measurement for the Structure of Positive Active Materials of Lead-Acid Batteries

小宮山亮二 \*<sup>1</sup>  
Ryoji Komiya

阿部英俊 \*<sup>2</sup>  
Hidetoshi Abe

### Abstract

AC impedance measurements are widely pursued to make analyses on the surface / interface of batteries' electrodes and their active materials' structures, which enables to scrutinize reaction processes on the electrodes and their degradation behaviors. In this report, two types of positive electrodes with high- and low-density positive active material (PAM) were examined by using Cole-Cole plot method in order to make clear any relationship between their structure parameters and reaction rate controlling step. Within impedance components, charge transfer resistance ( $R_{ct}$ ) increased exponentially along with utilization ratios. Linear relationship between  $R_{ct}$  and porosity of PAM were obtained, strongly suggesting that  $H_2SO_4$  diffusion and  $PbSO_4$  blockage occur essentially as controlling therein.

### 1. はじめに

近年、鉛電池のコストダウン、軽量化、高性能化が求められている。中でも高性能化に関する要求は強く、多岐にわたって研究がなされている。特に容量および寿命を支配することが多い正極の高性能化は重要である。正極の電極反応および物質移動過程を詳細に把握することが必要とされている。これらを評価する電気化学的手法には、種々のものがあるが、交流インピーダンス法はより多くの情報が入手できる。すなわち電極の反応機構は、物理的な状態や物性などに支配され、これに関して各々のインピーダンス（複素インピーダンス）を測定し、電極の反応モデルを立て解析を行なうことにより、電極反応機構を詳しく知ることができる。

鉛電池についての交流インピーダンス法の応用はFRA (Frequency Response Analyzer) によって正極板の格子活物質界面の劣化の程度<sup>1)</sup>、未化成状態の正極板の解析などの極板界面解析の試み<sup>2)</sup>、あるいは鉛電池の特定周波数応答を利用した寿命診断などに用いられてきたが、正極活物質構造を定量評価する試みは少ない<sup>3, 4, 5)</sup>。これは電解液が活物質とし

て働き、要因が複雑に混在していること、またFRAなどを用いて簡易測定できる半面、解析が容易ではない<sup>6)</sup>ためと考えられる。

本報文では、密度の異なる正極活物質 (PAM : Positive Active Material) を用い、その放電反応における抵抗成分を交流インピーダンス法により分離し、その応答から、反応の律速段階を求めて、活物質構造との関係を明らかにすること目的とした。

### 2. 実験

#### 2.1 実験用正極の作製

ボールミル式鉛粉 100g に適量の水を入れて混練し、比重 1.400 (20°C) の希硫酸を 8cc 投入して更に混練して正極用ペーストを調製した。その後、適当量の水をペーストに添加して、ペースト密度が 4g/cc および 5g/cc のものを調製した。

Pb-Sn-Ca 系合金の実験用鋳造基板 (40 × 23.6 × 4mm) を準備し、一枚当たり約 10.5g のペーストを充填した。その後、綿布をはさんで 20kg/cm<sup>2</sup> の圧力で平板プレスをした。

熟成は 40°C, 98% RH で 12 時間、更に 40°C, 85% RH で 20 時間放置し、その後、60°C, 4 時間の乾燥を行なった。

化成はタンク化成とし、比重 1.050 (20°C) の希

\*<sup>1</sup> K チーム

\*<sup>2</sup> NP チーム

硫酸を電解液として注入後、40°C、22mA/g の電流で22時間充電した。その後、電極を取り出し、水洗、乾燥して実験用正極板とした。化成後のPAM密度はそれぞれ、3.95g/cc（以下、低密度という）と4.82g/cc（以下、高密度という）であった。

## 2.2 セルの構成

実験用セルの構成を図1に示す。作用極には電位精度を向上させるため、リードを2本設けた。対極は十分な容量を持つ化成済の負極を、参照極は水銀／硫酸第一水銀電極を、またセパレータは通常のガラスマットをそれぞれ使用した。電解液は比重1.320(20°C)の希硫酸を500cc用いた。なお、スタックは抑え板の四隅を4つのボルトで固定し、締付けトルクを5N·cmとして電極間を加圧した。

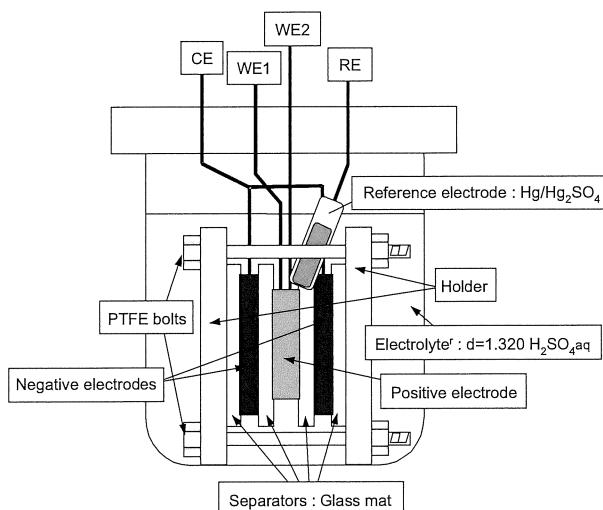


図1 試験セル模式図  
Fig.1 Schematic structure of test cell

## 2.3 電池試験と物性測定

試験セルを用いて、25°CでPAM質量当り、17.7mA/gの電流で放電した。高密度PAMの方が利用率が低い(28%/0.25C)ので、試験の都合上、両水準とも理論容量に対する放電深度を同一とした。このため、放電時間を0, 1.5時間および3時間とし、それぞれ理論容量に対して、0%, 12%および24%で、0%は放電前、12%は放電中期、24%は放電末期に相当する。

これらのインピーダンスをFRAを用い、25°Cの一定温度で測定した。交流印加時は細かい充放

電を繰り返し、極板状態が変化する恐れがあるので、水準ごとに極板は新品に交換して実施した。物性に関しては化成終了後のPAMをSEM(JEOL JSM-5310LV)で観察し、試験前後の極板は水銀圧入式ポロシメータ(Thermo Finnigan PASCAL 140, 440型)を用いた細孔分布および気孔率の測定、化学分析による各組成の定量分析を実施した。

## 2.4 交流インピーダンス法の原理と測定

電池を以下の液抵抗 $R_{\text{sol}}$ 、電気二重層容量 $C_d$ (double layer)、電荷移動抵抗(化学反応抵抗も含む) $R_{\text{ct}}$ (charge transfer)の三成分からなると仮定し、図2に示す。簡易等価回路を想定し、それぞれの値をCole-Cole plotを用いて求めた。ここで、本実験は電池ではなく、正単極について実施した。

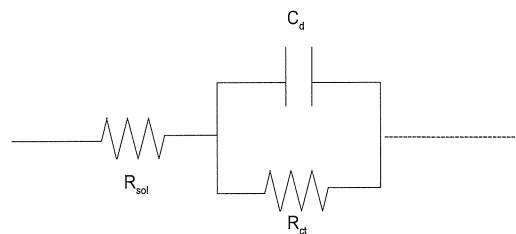


図2 等価回路  
Fig.2 Equivalent circuit

一般的に電池に交流電圧、電流を印加した際の応答電圧、電流、インピーダンスは以下の式で示される<sup>7)</sup>。

$$E = E_0 \exp j(\omega t + \varphi) \quad ①$$

$$I = I_0 \exp j\omega t \quad \dots \dots \dots \quad ②$$

$$Z = E/I = (E_0/I_0) \exp j\varphi \quad \dots \dots \quad ③$$

( $\omega$ /Hz: 角周波数 =  $2\pi\nu$ ,  $\varphi$ : 初期位相)

また、③式はR, L, C直列回路においてインピーダンスは下式で示される。

$$Z = R + jX \quad \dots \dots \dots \quad ④$$

$$\left. \begin{aligned} Z: & \text{インピーダンス} [\Omega] \\ R: & \text{抵抗} [\Omega] \text{ (実数成分)}, \\ X: & \text{リアクタンス} \text{ (虚数成分)} \quad X = (\omega L - 1/\omega C) \\ L: & \text{インダクタンス成分} [H], \quad C: \text{容量成分} [F] \\ & \text{(インダクタンス成分, 容量成分が存在すると位} \\ & \text{相差が生じる)} \end{aligned} \right\}$$

周波数の変化により応答電流と電圧の位相にずれが生じ、リアクタンス成分が変化する。電流と電圧の位相差が0のとき、リアクタンス成分が0となる。

一般的な電池ではこのときの周波数は約 1000Hz から数百 Hz である。また、インピーダンス測定中に定常状態を保つために交流入力電圧は 10mV 以下に設定する必要がある。

今回検討した Cole-Cole plot は周波数を挿引した際に④式で示される R (実数部), X (虚数部) についてプロットしたものである。測定条件については以下に示した通りである。

- ・測定装置 : Solartron 1280A
- ・周波数挿引範囲 : 20k ~ 0.01Hz
- ・交流印加電圧 : 10mV

### 3. 結果

#### 3.1 インピーダンス測定と物性測定結果

理論容量に対する放電深度（以下、利用率という）が、0%, 12% および 24% の Cole-Cole plot を図 3 の (a), (b) および (c) にそれぞれ示した。0% および 12% の Cole-Cole plot の形は一般的に見られる混合抵抗（電荷移動 + 拡散 + 化学反応）である。次に放電末期の 24% での Cole-Cole plot は拡散抵抗成分である低周波数領域での直線が見られず、電荷移動（化学反応も含む）抵抗のみが表れている。これから、放電末期の抵抗成分は PAM 構造（密度）に大きく影響されることがわかった。

初期状態 PAM の SEM 像を図 4 の (a) および (b) に示した。低密度の方が高密度と比較して、孔径が大きく、気孔がより多く存在することが観察された。

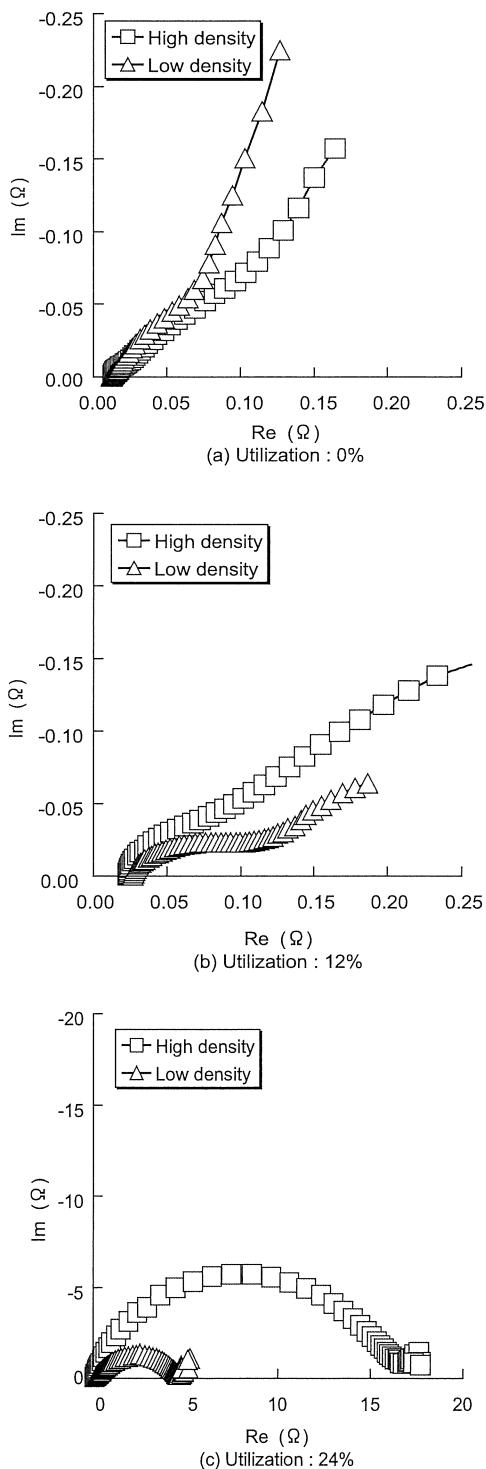
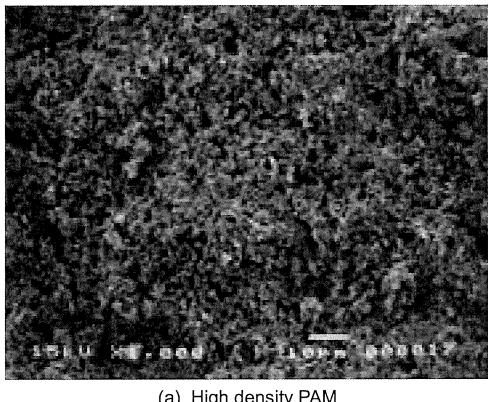
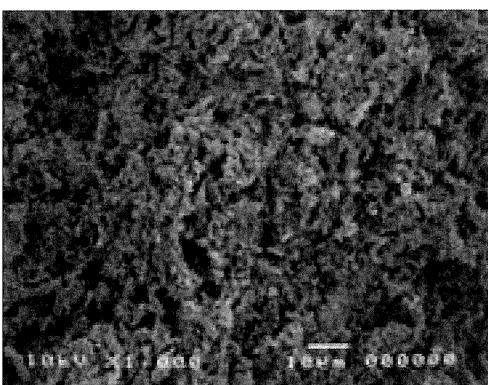


図 3 利用率による高密度および低密度 PAM の Cole-Cole plot  
Fig.3 Cole-Cole plots for high and low density PAM at various utilization



(a) High density PAM

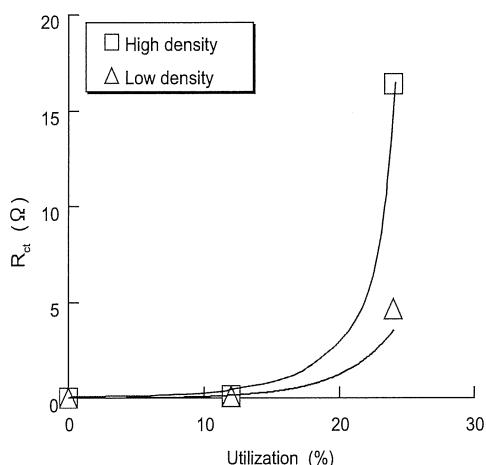


(b) Low density PAM

図4 PAMのSEM像  
Fig.4 SEM photos of PAM

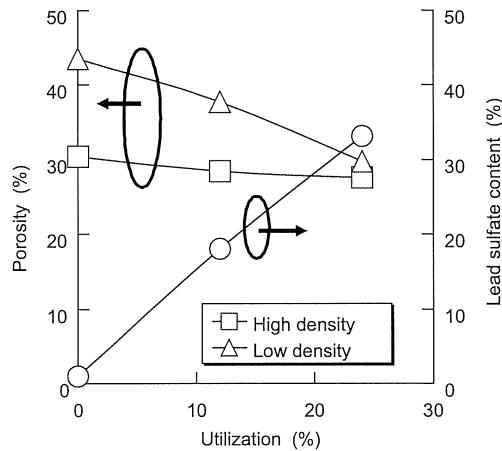
## 3.2 利用率と電荷移動抵抗の関係

利用率と電荷移動抵抗の関係を図5に示した。電荷移動抵抗は利用率が高くなるに従って、指数関数的に大きくなつた。この応答性の違いは高密度PAMの変化の方が低密度PAMと比較して大きいことから、PAMの密度差または細孔の量によると考えられる。

図5 利用率と電荷移動抵抗( $R_{ct}$ )の関係  
Fig.5 Relationship between utilization and  $R_{ct}$ 

## 3.3 利用率と気孔率および硫酸鉛量の関係

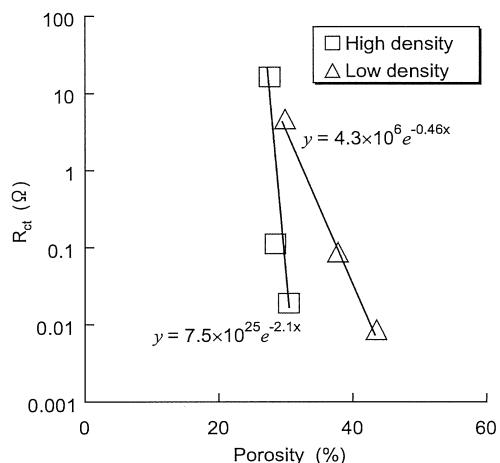
利用率と気孔率および硫酸鉛量を図6に示した。

図6 利用率と気孔率および硫酸鉛量の関係  
Fig.6 Relationship between utilization and porosity and lead sulfate content

利用率が増加するに従い、高密度PAMでは気孔率の減少は小さく、一方、低密度PAMでは気孔率がより大きく減少した。

## 3.4 気孔率と電荷移動抵抗の関係

利用率を変化させた時の気孔率と $R_{ct}$ の関係を図7に示した。 $R_{ct}$ と気孔率は線形関係にあり、これらを数式（高密度： $y=7.5 \times 10^{25} e^{-2.1x}$ 、低密度： $y=4.3 \times 10^6 e^{-0.46x}$ ）で表すことができた。

図7 気孔率と電荷移動抵抗( $R_{ct}$ )の関係  
Fig.7 Relationship between porosity and  $R_{ct}$ 

高密度PAMの方が気孔率変化に対する $R_{ct}$ の上昇が敏感であることが判明した。

#### 4. 考察

本実験は拡散抵抗の因子を最小限に抑えるため液式 (Flooded) で行ない、抵抗成分を分離できる環境に設定した。

今回の放電電流 (17.7mA/g) は比較的緩放電であるので、正極内部の硫酸と共に正極外部のセパレータから供給される硫酸、および放電時の硫酸との反応など、複数因子が存在し、結果として抵抗成分も複合した形で Cole-Cole plot に現れた。しかし、利用率が大きくなると、生成する硫酸鉛により、反応サイトが限定されるために、拡散抵抗が殆ど現れない状態となり、電荷移動抵抗のみとなつた。この傾向は図 3 (c) に示したように PAM 密度によって差となって現れた。

また、図 6 で示したように、低密度 PAM の細孔量低下の傾きは高密度 PAM よりも大きく、利用率が大きくなるに従って、細孔率がより減少している。このことから、低密度 PAM は電極内部まで反応が進行し、二酸化鉛から硫酸鉛への体積変化 ( $25.5 \rightarrow 48.9\text{cm}^3/\text{mol}$ ) により、細孔率の減少がより大きかったと考えられる。一方、高密度 PAM は細孔量の変化が小さいことから、表面でのみ反応が進行し、放電開始から、より早い時期に細孔閉塞状態となって、放電反応が律速となつたために、大きな抵抗として Cole-Cole plot に表れたものと考えられる。PAM 密度差による抵抗成分の違いは、有効反応面積 (活物質の使われ方) の差であることが推測される。

図 7 から、高密度 PAM の  $R_{ct}$  値の傾きは  $90^\circ$  に近く、気孔率による変化が大きい。言い換えれば、気孔率が放電による硫酸鉛生成によって、少しでも小さくなると  $R_{ct}$  値が大きくなる。一方、低密度 PAM の傾きは小さいために、 $R_{ct}$  値の上昇は高密度よりも抑えられる。この直線の傾きには、ある範囲が存在し、高密度であるほど傾きは  $90^\circ$  に近くなると考えられる。

以上の結果から気孔率と  $R_{ct}$  は線形関係にあり、数式化できた。今後は図 7 で示した傾きの意味を更に解析する予定である。

また、利用率と寿命はトレードオフ関係にあるが、インピーダンス解析により、直線の傾きから双方の

最適値を推定し、電池の用途別に応じて最適な PAM 構造設計に応用して行きたい。

鉛電池の反応は多くの素反応から成り立っているために、現実の等価回路は更に複雑になると考えられる。特に、吸着、脱離または拡散についての因子は充放電反応速度に影響を及ぼすことが考えられる。また今回、気孔率 (細孔量) と  $R_{ct}$  の相関関係が見出されたが、細孔に関しての因子の一つとして、Tortuosity (迷宮度) も考えることができる。この因子は活物質構造のみならず、セパレータ等の多孔体にも関与し、細孔の複雑さを表すパラメータであるので、細孔量が同じであっても、この因子が異なれば反応サイトおよび有効反応面積が変化することが考えられ、結果として抵抗値が変化するものと思われる。よって Tortuosity をある係数として用いて、解析することにより、PAM 構造解析の精度がさらに向上するものと考えられる。

#### 5.まとめ

構造 (密度) の異なる PAM の交流インピーダンス測定により、以下の知見が得られた。

- 1) 鉛電池正極の細孔閉塞過程を交流インピーダンス測定により、電荷移動抵抗 ( $R_{ct}$ ) の変化として捉えることができた。
- 2) 気孔率と電荷移動抵抗が線形関係であることを見出し、電池用途 (サイクリュースまたはフロートユース等) に応じた活物質構造設計について、知見が得られた。

#### (参考文献)

- 1) 井上利弘、小浦延幸、電気化学と工業物理化学、**64**, 394 (1996)
- 2) 井上利弘、小浦延幸、電気化学と工業物理化学、**66**, 200 (1998)
- 3) E.Karden, S.Buller, R.W.De Doncker, J.Power Sources, **85**, 72 (2000)
- 4) P.Simon, N.Bui, N.Pebere, F.Dabosi, J.Power Sources, **53**, 163 (1995)
- 5) M. Keddam. Z. Stoynov, H. Takenouti, J.Appl.Electrochem, **7**, 539 (1977)
- 6) 電池便覧編集委員会編、電池便覧、丸善、176 (1990)
- 7) 水崎純一郎、電気化学と工業物理化学、**62**, 386 (1994)

# 正極格子界面腐食層の劣化挙動について

## Micro-Scopic Structure of Positive Grid/PAM Interface and its Degradation Behavior in Lead-Acid Battery

曾我部 幸蔵 <sup>\*1</sup>  
Kouzou Sogabe

古川 淳 <sup>\*2</sup>  
Jun Furukawa

### Abstract

The intrinsic failure of lead-acid battery in cycle life tests, in particular, at higher temperature is believed to be due to positive grid corrosion, which makes it difficult to keep both mechanical and electrical integrity of the electrode. However, the interfacial corrosion layer, which grows through test cycle simulating practical charge-discharge operations, might play more essential role in nature via battery's internal electrical resistance. In this study, corrosion products in positive plates, cured, formed or cycle-tested, were analyzed by using SEM, XRD, and EPMA and their micro-scopic structure, chemical and crystallographical, was scrutinized, which strongly suggested that grid's oxidative corrosion proceeds through a few steps, including both solid-and liquid-phase reactions. Thicker corrosion layer after cycle test, which was identified as  $PbO_x$  ( $1 < x < 2$ ), contained varied defects and inhomogeneities such as both vertical and horizontal cracks and layered  $PbSO_4$ . These results suggest that the growth of corrosion layer increases interfacial or internal resistance rapidly, which is a major controlling factor for cycle life of lead-acid battery.

### 1. はじめに

鉛蓄電池のサイクル寿命性能を支配する劣化要因として、正極格子腐食が挙げられる。これは格子の腐食によりその断面積が減少して内部抵抗が増大したり、格子の伸びにより活物質との接合が損われて電池寿命に至るものである。正極格子の長寿命化には格子合金の耐食性と機械的特性の向上が必要と言われ、広く研究されている<sup>1) 2)</sup>。しかし、格子の集電体としての機能に着目すると格子界面における腐食層の導電性や活物質との接合度合いは電池の内部抵抗に影響し、電池性能にとっては格子そのものの腐食以上に重要と考えられる<sup>3)</sup>。Hollenkamp らは深放電サイクルサービスで腐食層の早期容量低下 (PCL: Premature Capacity Loss) への影響について報告した<sup>4)</sup>。また、Pavlov らは腐食層の生成機構について系統的な研究を行い、格子表面に生成した  $PbSO_4$  は格子界面の pH を高めて  $PbO$  を生成し、ついで酸素との固相反応で非化学量論的化合物  $\alpha$

- $PbO_x$  ( $1 < x < 2$ ) に変化するとした。そして、その導電率は  $x$  の増加と共に増加するが、 $x = 1.4$  で平衡に達すると報告している<sup>5) 6) 7)</sup>。

本報ではこれらの知見を基に、自動車用 12V 液式電池の正極格子界面腐食層を SEM, XRD, EPMA 等を用いて調査し、熟成、化成およびサイクル寿命試験後における腐食層の成長過程を明らかにして、と劣化挙動を考察したので報告する。

### 2. 実 験

Pb-Ca-Sn 合金製重力鋳造格子に、 $PbO$ 、水、希硫酸からなる活物質ペーストを充填後、三塩基性硫酸鉛が生成する条件で熟成を行い正極熟成板を得た。つぎにこの正極熟成板を用いて D23 サイズの電池を組立て、電槽化成を行った。この時点で電池を解体して正極化成板を得た。その後、この電池を用いて 75°C で SAE 軽負荷サイクル寿命試験を実施した。試験条件は、75°C 水槽中、放電は 25A で 4 分間、充電は最大 25A、14.8V の定電圧充電で 10 分間を 1 サイクルとし、480 サイクル毎に大電流での判定放電を行い、30 秒目電圧が 7.2V となった時点で寿命とし

<sup>\*1</sup> 技術開発部

<sup>\*2</sup> MV チーム

た。寿命に到達した電池は解体し、寿命後の正極板を得た。化成後および寿命後の極板は流水中で3時間水洗した後、60°Cで3時間乾燥した。ここで得られた熟成、化成、および寿命後の正極板の格子界面をSEM、XRD、EPMAにより調査した。XRDは粉末法とは別に腐食層に焦点を絞った微小部測定も行った。EPMAでは面分析による元素マッピングと共に点分析による組成の決定を試みた。観察および測定用サンプルは、極板をエポキシ樹脂に埋め込み、硬化後に切断、研磨を行って調製した。

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 熟成および化成後の正極格子界面腐食層

熟成板断面のSEM観察では格子界面の腐食層の厚みは3~5 μm程度で緻密であった(図1)。

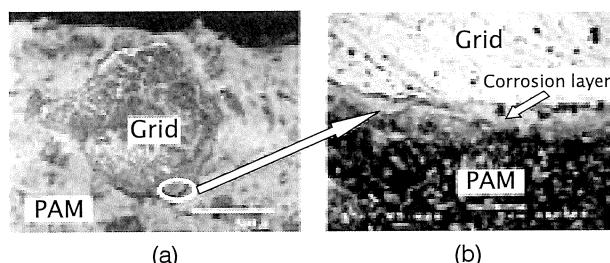


図1 熟成板断面の観察結果  
Fig.1 Cross section of positive grid/PAM interface after curing, (a) Optical micrograph; (b) SEM micrograph

この腐食層を格子から剥がし、粉末XRDで調べた結果、主に $\alpha$ -PbOであった(図2)。

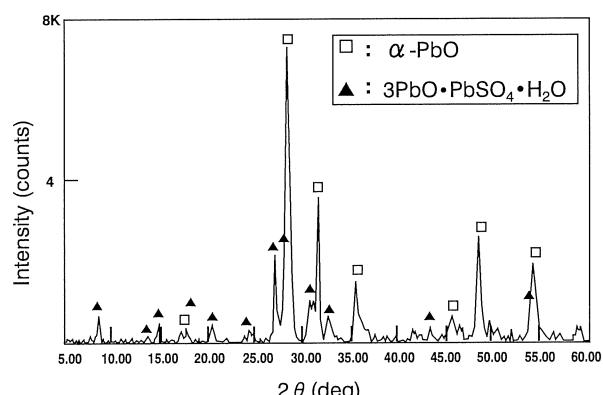


図2 粉末XRDによる熟成後腐食層の調査結果  
Fig.2 X-Ray powder diffraction pattern of corrosion products in cured positive plate

これは熟成・乾燥過程で格子表面が空気中の酸素で酸化され、PbOからなる腐食層が生成したと考えられる<sup>8)</sup>。また、三塩基性硫酸鉛は腐食層に付着した活物質によるものである。化成板断面のSEM観察では、腐食層の厚みは熟成後よりも厚くなっている。格子から剥がして格子側から観察すると、緻密な部分と多孔質な部分とからなる複数の層が認められた(図3)。

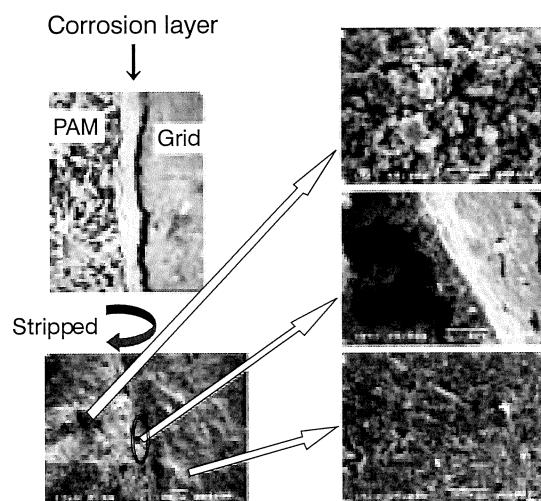


図3 SEMによる化成後腐食層の観察結果  
Fig.3 SEM micrographs of positive grid/PAM interface after formation

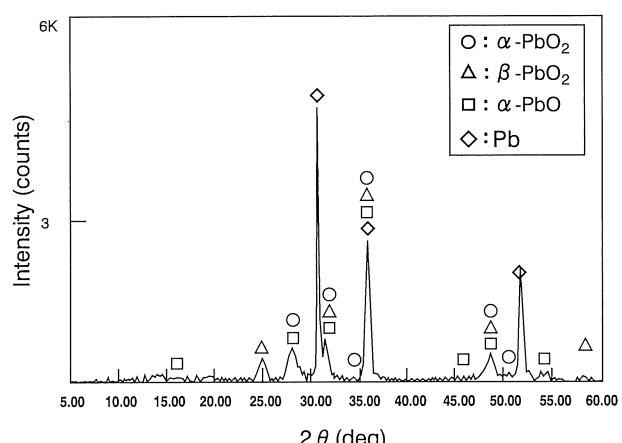


図4 粉末XRDによる化成後腐食層の調査結果  
Fig.4 X-ray powder diffraction pattern of corrosion products in formed positive plate

## 正極格子界面腐食層の劣化挙動について

この腐食層の粉末XRDでは $\alpha$ -PbO,  $\alpha$ -PbO<sub>2</sub>,  $\beta$ -PbO<sub>2</sub>が検出された(図4)。また、微小部XRDでも同様の結果が得られた(図5)。なお、Pbのピークは格子合金に起因する。

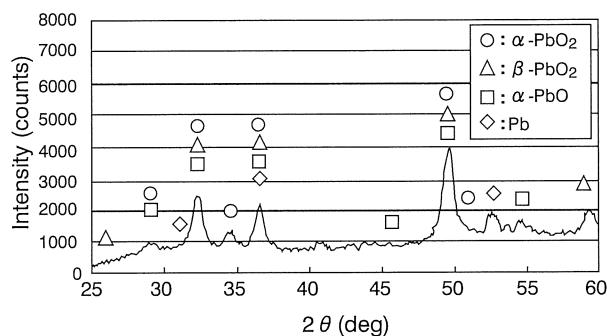


図5 微小部XRDによる化成後腐食層の調査結果  
Fig.5 Micro-X-ray diffraction pattern of corrosion products on positive grid after formation

つぎに、EPMAによるPbとOの定量分析では、腐食層はPbO<sub>0.5~1.5</sub>、活物質層はPbO<sub>1.5</sub>前後と見積もられた。また、Sのライン分析では格子表面付近に高濃度の領域が認められた(図6)。

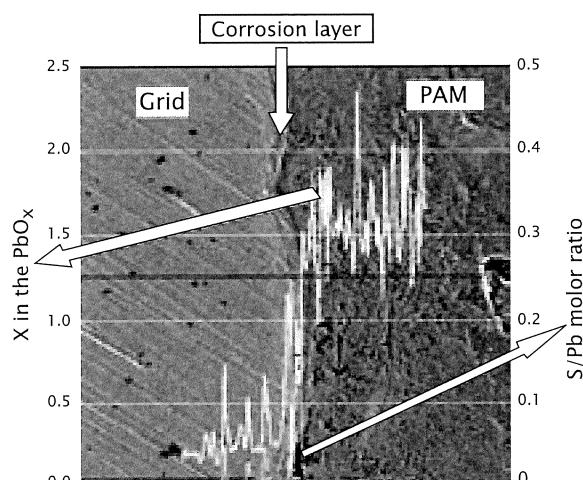


図6 EPMAによるPbとOの定量結果(化成後)  
Fig.6 EPMA analysis of PbO<sub>x</sub> and S/Pb in molar ratio on positive grid/PAM interface after formation

これらの結果から、化成ではPavlovらが主張する固相反応と液相反応により多層構造の腐食層が生成したと考えられる<sup>5-7)</sup>。すなわち、腐食層はPb/PbO/PbO<sub>x</sub>/PbSO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+正極活物質、から

なる多層構造で、その生成メカニズムはつぎのように推定できる。①熟成で生成した格子表面のPbOは電解液との接触で直ちにPbSO<sub>4</sub>に変化して格子界面を覆う。②その結果、PbSO<sub>4</sub>と格子界面のpHは上昇し格子表面には再びPbOが生成する。③このPbOは充電過程に液相側から拡散してくる酸素との固相反応で $\alpha$ -PbO<sub>x</sub>(1<x<2)になる。④①で生成したPbSO<sub>4</sub>の固相側はそのまま維持され、液相側は液相反応で $\beta$ -PbO<sub>2</sub>になる。

## 3.2 サイクル寿命後の正極格子界面腐食層

## 3.2.1 腐食層の構造

寿命試験において約2500サイクルで判定放電時の30秒目電圧が7.2Vを下回り、寿命と判断された電池を解体し正極板を調査した。この電圧低下は主として正極板に起因するものであった。正極板の外観は、活物質の軟化、格子の腐食と伸びが観察されたが何れも顕著ではなかった。格子の腐食率と伸びを測定したところ、腐食率は26.1wt%，伸びは2.2%であり、必ずしも大きな値ではなかった。また、正極活物質の化学分析では、活物質中のPbSO<sub>4</sub>は1wt%以下とわずかであった。これらのことから、この電池の正極は活物質の軟化、格子腐食やサルフェーションは致命的ではなく、むしろ格子界面の腐食層の電気抵抗が増加し、判定時の大電流放電での電圧降下が大きくなり、寿命と判断されたと考えられる。そこで、正極格子界面の状態について調査を行った。

まず、正極板断面のSEM観察では腐食層の厚みは70μm前後で化成後の10倍以上成長しており、腐食層内部には格子表面に対して垂直方向と水平方向にクラックが発生していた(図7)。

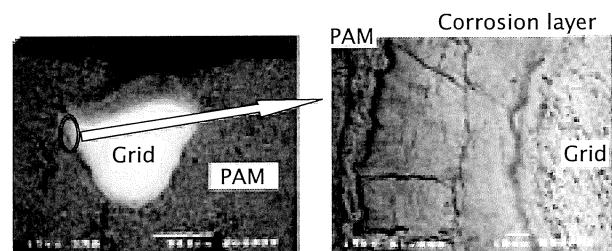


図7 SEMによる寿命後腐食層の観察結果  
Fig.7 SEM micrographs of the corrosion layer of positive plate after cycle life test

つぎに EPMA による腐食層の Pb と O の定量分析（図 8）では、格子表面から  $15 \mu m$  付近までは  $PbO_{0.6 \sim 1.2}$  と O が連続的に増加し、 $15 \sim 30 \mu m$  付近は特に O が著しく増加して約 1.6 となっていた。しかし、その外側では  $PbO_{1.3 \sim 1.6}$ 、活物質部分は  $PbO_{1.5 \sim 2.0}$  となっていた。また、S のライン分析では格子表面から  $15 \sim 30 \mu m$  付近に高濃度の領域が認められ、O が急激に増加した部分と一致した。また、S と O の増減は全ての領域でほぼ一致していた。したがって、この部分での高い O の値は、 $PbO_x$  と  $PbSO_4$  とが共存するためと考えられる。

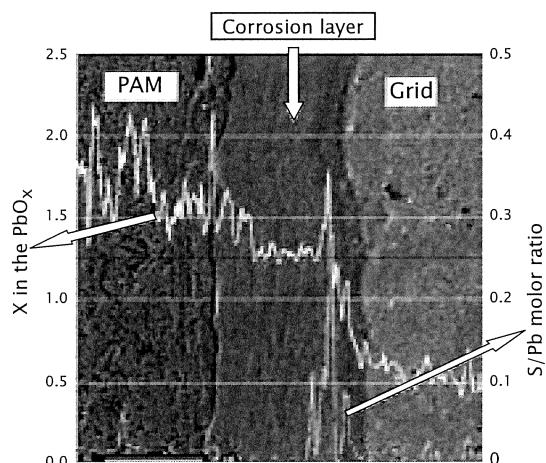


図 8 EPMA による Pb, O, S の定量結果 (2400 サイクル後)  
Fig.8 EPMA analysis of  $PbO_x$  and S/Pb in molar ratio on positive grid/PAM interface after cycle life test

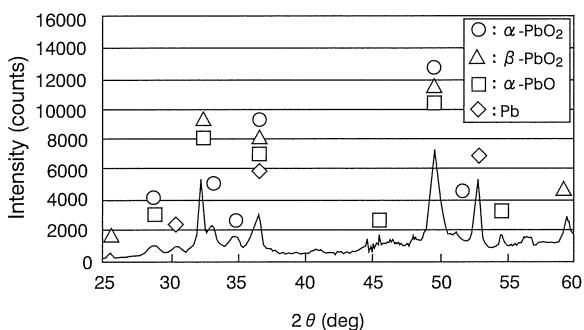


図 9 微小部 XRD による寿命後腐食層の調査結果  
Fig.9 Micro X-Ray diffraction pattern of the corrosion layer of positive plate after cycle life test

一方、微小部 XRD では腐食層中央部は主に  $\beta$ - $PbO_2$  であったが、 $\alpha$ - $PbO_2$  も比較的多いことが分かった（図 9）。

これらの結果から格子表面から  $15 \mu m$  付近は、格子表面の Pb または  $PbO$  と O の固相反応で生成した  $PbO$  または  $PbO_x$  ( $1 < x < 2$ ) であり、この領域の外側を約  $15 \mu m$  の厚みで  $PbSO_4$  の膜が被覆する構造となっていた。また、これよりも外側は  $PbO_x$  の x の変化が比較的緩やかで、 $\beta$ - $PbO_2$  と  $\alpha$ - $PbO_2$  が検出されたことから、 $\beta$ - $PbO_2$  は  $PbSO_4$  の液相反応で生成したものであり、 $\alpha$ - $PbO_2$  は液相と反応していない  $PbO_x$  が残留しているものと考えられる。

ところで、この主に  $\beta$ - $PbO_2$  からなる領域は正極活物質と組成は同一だが緻密であり、格子と活物質の接点となっている。ここから発達する活物質の付け根部分は AMCL (Active-Mass Collecting Layer) と呼ばれ、これよりも格子側の CL (Corrosion Layer) と区別されている<sup>3)</sup>。しかし、サイクル寿命後の正極板断面の SEM 観察ではこの接点となる領域にクラックなどの欠陥が観察された（図 7）。

これとは別に、正極板下部の断面 SEM 観察では格子を取り巻く様に粗い粒子が縞状に堆積している部分が認められた（図 10）。正極板下部の活物質の化学分析では  $PbSO_4$  が約 5wt% とやや高い値を示した。また、この縞状部分の EPMA 分析の結果、粗い粒子は  $PbSO_4$  であることが分かった（図 11）。

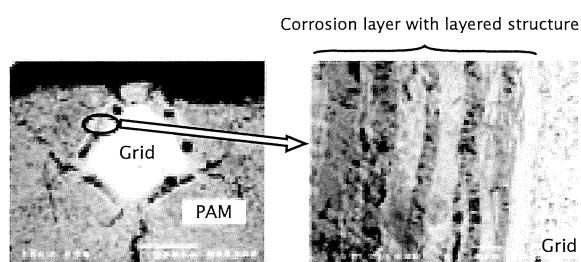


図 10 SEM による寿命後腐食層の調査結果（縞状構造）  
Fig.10 SEM micrographs of layered structure in the corrosion products of positive grid/PAM interface after cycle life test

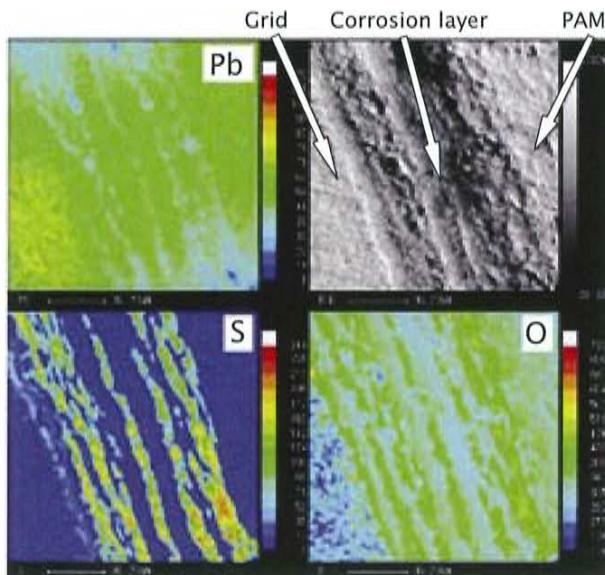


図 11 EPMA による腐食層中の Pb, O, S マッピング（縞状構造）

Fig.11 Pb, O, and S mapping of the corrosion layer with layered structure by EPMA

この様に腐食層、特に AMCL との接点となる領域には多数のクラックや  $\text{PbSO}_4$  の縞状部分があり、構造的に劣化した状態にあることが分かった。そこで、クラックや縞状構造の発生など、腐食層の劣化メカニズムについて考察した。

### 3.2.2 腐食層の劣化メカニズム

格子表面に垂直なクラックの発生は、腐食層の成長に起因すると考えられる。格子合金の分子容を 1 とすると、腐食層を構成する  $\text{PbO}_2$  は 1.4,  $\text{PbSO}_4$  は 2.6 である。腐食層の成長は体積の増加を伴い、格子表面に対して垂直なクラックが発生する。また、このクラックの発生で、腐食層下部の格子表面付近まで電解液が侵入して格子表面の腐食反応が進行すると考えられる。

つぎに、格子表面に水平なクラックの発生は、格子の伸びに起因すると考えられる。腐食層や活物質などの酸化物は機械的に脆い性質があり、格子の長手方向への伸びに対して格子近傍の腐食層は比較的追従するが、活物質近くの腐食層は動きを制約されて格子の伸びに追従できない。そのため、格子表面に水平なクラックが発生する。このクラックは、格子表面と活物質の導電バスの面積を著しく減少させ

るため、内部抵抗の増大を招くと考えられる。

極板下部に見られた格子を取り巻く  $\text{PbSO}_4$  の縞状構造は、上記垂直クラックと水平クラックを通して侵入した電解液と腐食層との放電反応で生成したが、成層化による電解液比重の増加や極板上部に比べて充電々位が低くなることから、充電反応が十分に進まず、 $\text{PbSO}_4$  として残留したと考えられる。

## 4. 結論

(1) 腐食層は格子の腐食や伸びに起因するクラックや  $\text{PbSO}_4$  の縞状構造の発生によって劣化が進行し、機械的特性の低下や内部抵抗の増大を招き、高温でのサイクル寿命試験で電池を寿命に至らせることが分かった。

(2) 腐食層の構造から、腐食層の成長は固相反応と液相反応の二様式で進むと推定された。

今後は、高温でのサイクル寿命性能の向上を目的に、腐食層を健全に維持する方法の開発を進める所存である。

## (参考文献)

- 1) R.D.Prengaman, J. Power Sources, **95**, 224 (2001)
- 2) C.S.Lakshmi, J.E.Manders, D.M.Rice, J. Power Sources, **73**, 23 (1998)
- 3) D.Pavlov, J. Power Sources, **53**, 9 (1995)
- 4) A.F.Hollenkamp, K.K.Constanti, M.J.Koop, L.Apateanu, M.Calabek, K.Micka, J. Power Sources, **48**, 195 (1994)
- 5) D.Pavlov, Electrochimica Acta, **23**, 845 (1978)
- 6) D.Pavlov, T.Rogachev, ibid, **23**, 1237 (1978)
- 7) D.Pavlov, Z.Dinev, J. Electrochem. Soc., **127**, 855 (1980)
- 8) D.A.J.Rand, L.T.Lam, The Battery Man, p.18, November (1992)

# VRLA 電池設計への CAE 適用の検討

## Application of CAE for VRLA Battery Design

飯塚 博幸 \*  
Hiroyuki Iizuka

### Abstract

CAE (Computer Aided Engineering) focused onto computer simulation technique was applied to VRLA (valve-regulated lead-acid) battery development and design. Reliability problems relating to stationary VRLA batteries and battery groups were analyzed and optimization measures were made for the designs of positive grid and strap. In case of 36V automotive VRLA battery, it was demonstrated that there was a relationship between container geometry and plate-group pressure working effectively on high-rate discharging.

### 1. はじめに

新製品開発のリードタイムの短縮および開発コストの削減を目指し、弊社では CAE (Computer Aided Engineering) を用いた開発手法を積極的に活用している。本誌上ですでに、二輪車用鉛電池の端子溶接の熱解析を行なった事例<sup>1)</sup>、組電池架台の振動解析を行なった事例<sup>2)</sup>、極板の電位解析を行なった事例<sup>3)</sup>について報告し、更に自動車用 36V-VRLA 電池のサーマルマネージメント<sup>4) 5) 6)</sup>において活用し、電池開発における CAE が、非常に有効な手段であることを実証してきた。

弊社での電池開発における CAE の適用事例を、未発表のものを含め表 1 に示す。流体・鋳造・塑性加工といった、多岐に亘る分野で CAE を適用している。本報では、CAE の適用範囲を更に広げ、信頼性向上を目指した据置 VRLA 電池の構造設計を検討した事例と、36V-VRLA 電池の性能向上のため、電槽の形状検討に活用した事例について報告する。

表 1 電池開発への CAE 適用例  
Table.1 Examples of CAE application in battery development

分野	適用先	引例
プロセス	二輪車用鉛電池端子溶接	1
振動	据置 VRLA 電池	2
電気	サイクル用 VRLA 電池	3
熱	36V-VRLA 電池	4 ~ 6
電気-熱	鉛電池極柱溶断	—
流体	Ni-MH 組電池空冷	—
鋳造	鉛電池用 BM 基板	—
塑性加工	鉛電池用工キスピンド基板	—

\* N P チーム

## 2. 事例 1 据置 VRLA 電池

### 2.1 解析の目的

据置 VRLA 電池では、一般に 10 年以上の長寿命が要求される。更に非常時のバックアップ用電源としての用途から、使用期間中は常に機能を確実に維持している必要がある。従って、これら電池には、特に高い信頼性が求められている。ところが、これらバックアップ用途の電池では、長期間に及ぶフロート充電により、電池内の正極板の格子が徐々に酸化腐食していき、酸化に伴う体積増加により、極板自体が変形膨張していくことが知られている<sup>7)</sup>。従って、長い使用期間の間、その機能を維持するには、これらの極板の膨張を何らかの形で吸収し、電槽の変形や破壊といった現象を回避させる必要がある。また、電池内部で吸収させた場合でも、ストラップ部分での変形・破壊が起こり、電池性能を維持できなくなることも考えられる。

従って、据置 VRLA 電池を設計するには、使用期間中に起こりうる現象を定量的に予測し、対策を立てておくことが重要である。本解析では CAE を用いた電池の強度解析を行なうことにより、これら現象を予測することを試み、電池の信頼性を更に向上させるための検討を行なった。

### 2.2 解析方法

解析に用いた VRLA 電池の有限要素モデルを図 1 に示す。正極の極板群を 3 次元でモデル化し、モデル化した電槽に収納した。極板の膨張は、極板に膨張率と仮想的な温度を与え、熱膨張させることで表現した。解析には、有限要素法 (FEM: Finite Element Method) による解析プログラム ANSYS Multiphysics を用いた。

解析に用いた物性データは、図 2 に示す各種試験を行ない、電池を構成する各材料について強度を測定し用いた。

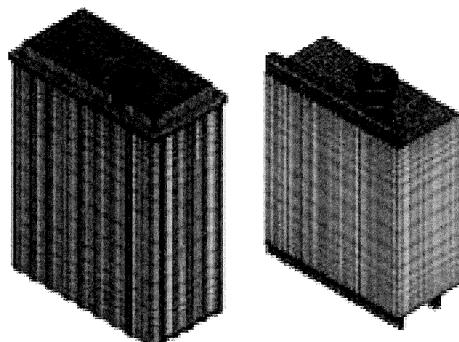


図 1 解析モデル  
Fig. 1 Analysis model

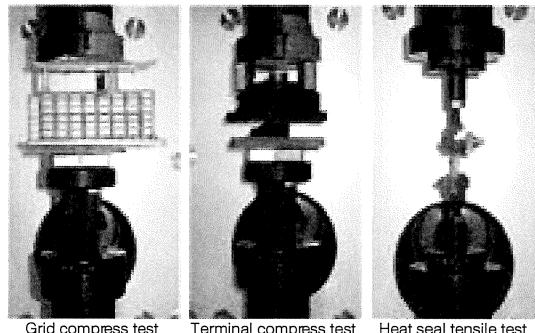


図 2 物性値測定試験  
Fig. 2 Measurements of mechanical strength

### 2.3 解析結果

極板群が膨張したときの電池と電池内極板群の応力分布を図 3 に示す。応力は、極柱の樹脂封口部分とその近傍の電槽蓋部分に集中することが示された。

コンピュータシミュレーションによる変形・応力分布と、実電池を用いたモデルシミュレーションによる変形・破壊試験での結果を比較して、図 4 に示す。このモデルシミュレーションは、電池内の極板群を強制的に上方に変位させ、電池破壊までの挙動を観測したものである。両者の変形の挙動は良く一致した。また、応力が高い個所で電槽の白化・破壊が発生することが確認でき、コンピュータシミュレーションの有効性が確認された。

このコンピュータシミュレーション、モデルシミュレーションの結果は、極板に想定している最大の膨張率である 5% を超えても電槽の破壊は起こらないことを示し、この電池の安全性が確認された。

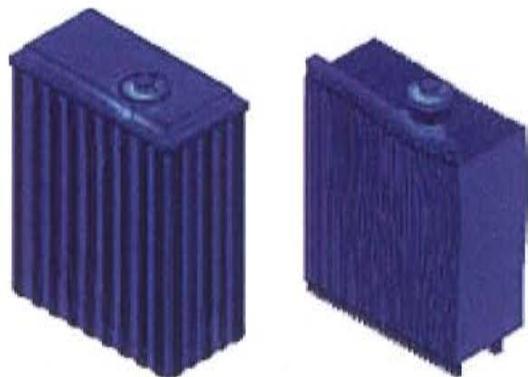


図 3 応力分布解析結果  
Fig.3 Distribution of stress

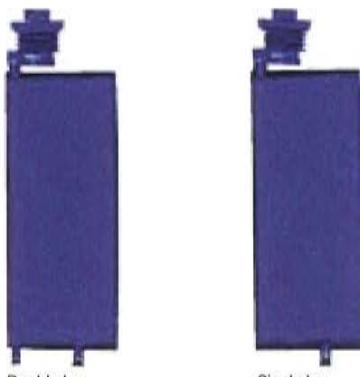


図 5 極板群応力分布比較  
Fig.5 Comparison of the stress on plate groups



図 4 コンピュータシミュレーションとモデルシミュレーションとの比較  
Fig.4 Comparison of computer simulation and model simulation

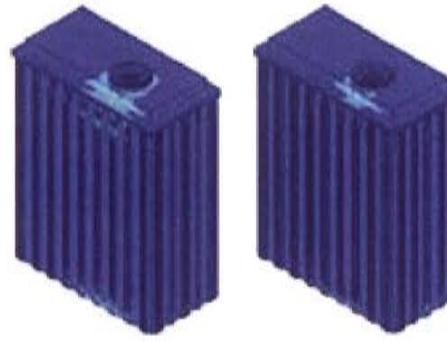


図 6 電槽応力分布比較  
Fig.6 Comparison of the stress on battery containers

## 2.4 信頼性向上検討

電槽に掛かる力を更に低減させる試みとして、極板の足を二本から一本に削減する効果を調べた結果について図 5, 6 に示す。解析結果を比較すると、足の数を一本にすることで、電槽にかかる最大応力を 40% 減らすことができ、より信頼性を高めることができるとなることを示した。

電池内部のストラップへ掛かる応力を低減させる試みとして、ストラップの形状を検討し、従来の形状と極柱に近いところの幅を広くした新形状について応力分布を求め、結果を図 7 に示す。また、ストラップの長手方向の応力状態を比較したグラフを図 8 に示す。両者を比較すると、これまで破壊の起き易いとされた図の矢印の部分で、応力を最大 50% 減らすことができ、信頼性向上に有効であることを示した。



図 7 ストラップ応力分布比較  
Fig.7 Comparison of the stress on battery straps

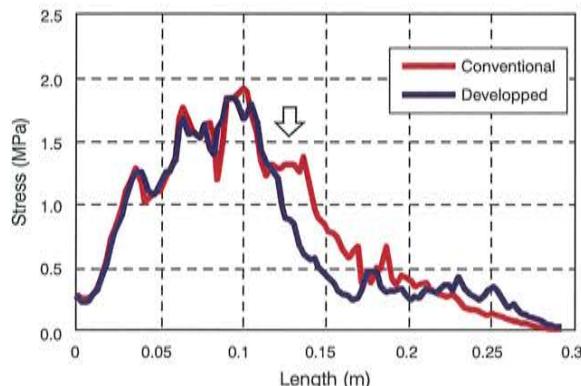


図 8 ストラップの長さ方向の応力分布  
Fig.8 Stress distribution along strap length

### 3. 事例 2 36V-VRLA 電池

#### 3.1 解析の目的

36V-VRLA 電池（以下 36V 電池という）は、その使用条件から鉛電池としては非常に高い性能が要求されている<sup>4)</sup>。その高率放電性能は極板とセパレータを積層した極板群を圧迫する力（以下群圧という）に強く依存することが知られている。ところが、36V 電池のような多セルモノブロック構造とする電池では、セルの位置により群圧が変わり、セルの性能にバラツキが生じる。その結果、性能の低いセルが電池全体の性能を左右する。

そこで、CAE を用いた 36V 電池の構造解析を行うことにより、電池構造が性能に及ぼす影響について定量的に把握し、性能向上のための幅広い知見を得ることを試みた。

#### 3.2 解析方法

解析に用いた 36V 電池の有限要素モデルを図 9 に示す。図では、対称条件により電池全体の 1/8 を 3 次元でモデリング化し、電槽内には極板とセパレータからなる極板群のモデルを挿入した。

実際の電池では、極板群は圧縮された状態で電槽内に挿入されるため、極板群には常に群圧が掛かった状態にある。この群圧を与えるため、解析モデルでは極板部分を実際よりも薄くモデル化しておき、極板部分だけを膨張（仮想的に熱膨張）させ、所定

の極板厚みとなるようにした。こうすることで、電槽内には常に群圧が掛かった状態とすることことができた。

解析に用いた極板群の物理特性は、実際の極板群での圧縮試験により求めた。

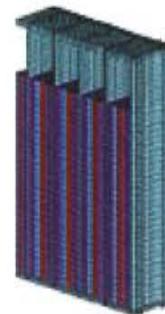


図 9 解析モデル  
Fig. 9 Analysis model

#### 3.3 解析結果

初期状態（極板群を電槽に挿入した状態）での、電槽に掛かる応力の分布を図 10 に示す。群圧で電槽が膨張変形し、コーナー部に応力が集中するのが確認された。

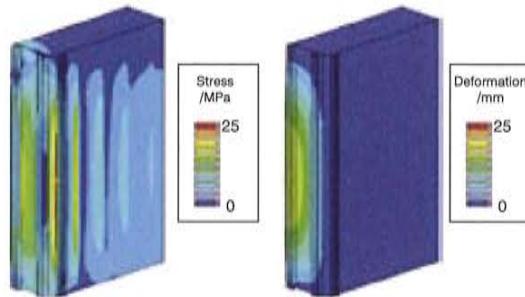


図 10 応力と変形量の分布  
Fig.10 Distribution of stress and deformation

極板群が初期状態から次第に膨張したときの電槽の変形量推移を図 11 に示す。膨張率が大きくなるにつれ、変形量も徐々に大きくなっているが、膨張率が 20%を超えると急激に変形量が大きくなることが確認された。これは、膨張率が小さい範囲では、セパレータの圧縮により膨張を吸収できていたのが、20%を超えた付近でセパレータの弾力性が無くなり、極板群の剛性が増したことでの、電槽側に膨張の影響がそのまま表れたためである。

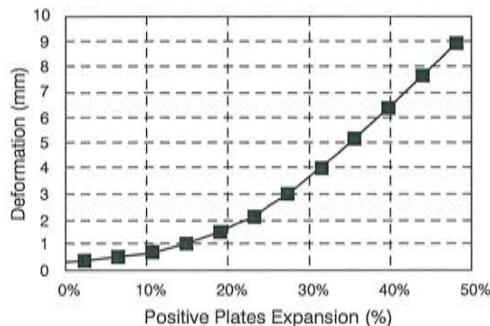


図 11 極板群の膨張率と電槽変形量  
Fig.11 Relationship between plate expansion and container deformation

セルの位置別変形量を図 12 に示す。両端の 1,9 セル目では、他のセルに比べ変形が大きくなっている。特に膨張率が 20%以下の範囲では、電池全体の変形の 90%以上が 1,9 セル目に集中するのが確認された。

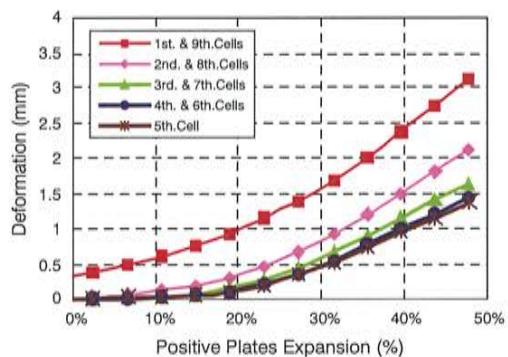


図 12 極板の膨張率と各セルの変形量  
Fig.12 Relationship between plate expansion and cell deformation

極板群と電槽の内壁面との間に生じた圧力分布を図 13 に、セルごとに求めた平均の圧力値 (= 群圧) を図 14 にそれぞれ示す。端のセルでは、他のセルに比べ圧力が小さくなっているのが判る。

実際の 36V 電池で高率放電試験を行ない、各セルの放電電圧を測定した結果を図 15 に示す。図 14 と図 15 のグラフの傾向は概ね一致し、放電性能が群圧に強く依存することが確認された。

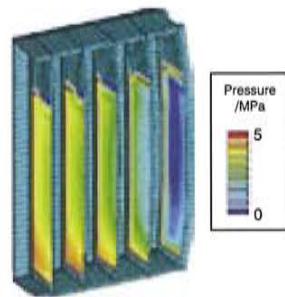


図 13 電槽内壁への極板群からの圧力分布  
Fig.13 Distribution of inside container pressure arising from plate groups

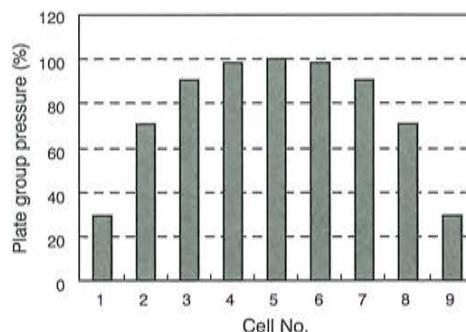


図 14 各セルの群圧  
Fig.14 Plate group pressure on each cell

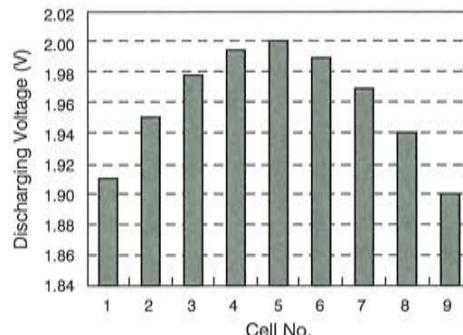


図 15 各セルの放電電圧  
Fig.15 Discharging voltage on each cell

### 3.4 電槽構造検討

電槽の短側面のリブ形状を変えたときの電槽変形量を図 16 に示す。変形量の比較では、横方向リブの方が縦方向リブよりも変形が少ないことが示された。これは、セル形状が縦長であり、短側面が外側に膨らんだときには横方向の曲率が縦方向に比べ大きくなるので、横方向のリブが効果的である。

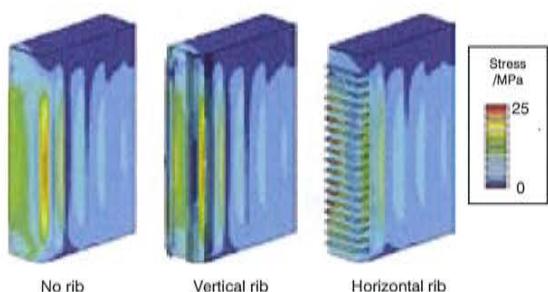


図 16 電槽形状による応力分布比較  
Fig.16 Stress distribution on containers with and without rib structures

#### 4.まとめ

CAE を用いた開発手法は、電池を開発していく上においても非常に有効な手段であり、開発期間の短縮・コスト削減に大きく寄与するものであることが確認できた。

弊社では、本報告以外にも CAE の適用範囲は更に広がっており、より一層の開発活動の効率化を進めている。

#### (参考文献)

- 1) 飯塚博幸, FB テクニカルニュース, № 56, 35 (2000)
- 2) 大出康樹, 若尾将士, 河内英樹, 細谷俊明, 飯塚博幸, FB テクニカルニュース, № 56, 42 (2000)
- 3) 野口博正, 菊地大介, 高田利通, 松本正幸, 萬ヶ原徹, 飯塚博幸, 根兵靖之, FB テクニカルニュース, № 57, 13 (2001)
- 4) 古川淳, 坂本光, 飯塚博幸, FB テクニカルニュース, № 58, 3 (2002)
- 5) J.Furukawa, H.Sakamoto, H.Iizuka, H.Sho, K.Mashimo "Development of 36V VRLA Battery and Thermal Management," 2<sup>nd</sup> Advanced Automotive Batteries Conference, Feb.2002, Las Vegas.
- 6) H.Iizuka, H.Sakamoto, J.Furukawa, M.Yamamoto, T. Shimura "Development of 36V VRLA Battery and Thermal Management," MIT/Industry Consortium Program Review Meeting June 2002, Kyoto.
- 7) D. Berndt, Maintenance-Free Batteries, 2<sup>nd</sup> Edition, 153 (Research Studies Press LTD., 1997)

# リチウムイオンポリマーゲル電池の開発

## Development of Li Ion Polymar Gel Battery

山本 真 裕 \* 1  
Masahiro Yamamoto

吉田 浩 之 \* 1  
Hiroyuki Yoshida

大登 裕 樹 \* 1  
Hiroki Ooto

江 黒 高 志 \* 1  
Takashi Eguro

幡 谷 耕 二 \* 2  
Kouji Hataya

### Abstract

Based on the technology of the long life and high reliability lithium ion cell which was accumulated for the artificial satellite power supply, developed was a Li ion polymer gel battery with high power characteristics, which is to be applicable to various industrial batteries with medium to large size and capacity as well.

A new formation of gel electrolyte was devised, which had a structure of micro-phase separation(MPSG). 1Ah & 15Ah cells were constructed and their high power performance was demonstrated along with other properties in comparison to their counterparts of electrolyte-type cell.

### 1. はじめに

リチウムイオン電池は、従来の小型携帯機器用途に加えて自動車、航空宇宙などの移動体電源として、また、ロードコンディショナに代表される分散電源などの産業用電池への展開が期待されている。このために、高い安全性や高出力放電特性を有する中～大容量電池の開発が活発化している。

近年、電解質にポリマーゲル技術を応用して、電解液を固定化したリチウムイオンゲル電池が小型携帯機器の電源に使用されるようになった<sup>1)</sup>。均一ゲル型リチウムイオン電池は、漏液安全性やポジションフリーでの特徴に優れるが、一般に高出力放電特性に課題が残されている<sup>2)</sup>。

ミクロ相分離型ゲル電解質の特性、特徴を十分に引き出すために長寿命・高信頼性の人工衛星電源用リチウムイオン電池<sup>3, 4)</sup>の構造、構成材を改良して、安全性が高く、かつ高い出力を有するリチウムイオンゲル電池の開発を行い、中～大型・高出力電池分野へのリチウムイオンゲル電池適用の可能性を見出した。

### 2. ミクロ相分離型ゲル

#### 2.1 ミクロ相分離型ゲルの設計

高い放電出力特性を得るためにには、電解液系と同等のイオン伝導度の高いゲル電解質が必要条件である。この要件を満たすゲルは均一相では得難く、機械的強度を有し固体形状を支持する部分(A)と、高いイオン伝導度を有しリチウムイオンの移動の媒体となる部分(B)とに分離した構成、いわゆる、相分離構造が効果的である。このような概念には、A部とB部の両方をポリマーあるいはゲル(ポリマー系)とするもの<sup>5)</sup>と、A部をポリマー系、B部を電解液とするものの2種が考えられる。開発目標の高出力型電池には10CAを超える高い出力レベルが求められており、これは、携帯電話に要求される2～3CAより数倍大きい。したがって、B部の固相と液相が部分的に分離したゲル(ミクロ相分離ゲル:MPSG)を選択し、これを開発することとした。

MPSGで最も懸念される課題は、電解液の染み出しである。ポリフッ化ビニリデン(PVDF)とヘキサフルオロプロピレン(HFP)の共重合体(PVDF-HFP)の微多孔構造に電解液を保持させる技術<sup>6)</sup>はすでに実用化されているが、空孔部に存在する電解液はポリマーと独立して存在しており、保液能力が低く、加圧により電解液は容易に分離すると言われてい

\* 1 LE チーム

\* 2 古河電気工業株式会社 研究開発本部 横浜研究所  
基盤技術センター

る<sup>7)</sup>。これは、ホストポリマーの PVDF-HFP と電解液の親和性が低いためである。

そこで、前述の A 部のホストポリマーには電解液の保液性に優れるアクリレート系ポリマー<sup>5)</sup>を選択し、相分離構造は二種類のアクリレート系モノマーを架橋重合させ、その架橋密度と電解液比率を適正化した。ホストポリマーにアクリレート系ポリマーを選択したこと、A 部を均一相ゲル、いわゆる真性ゲルとすることことができ、電解液が完全に分離した単なるスponジではなく、相分離した液相が部分的に存在してもバルク体としては高い保液性が期待できる。また、A 部自体もイオン導電性を有している。

さらに、電解液の染み出し防止には、ゲル体中に点在する電解液相のサイズを適正化することも重要である。電解液相のサイズが大き過ぎると、マクロな電解液の染み出しが起こり易くなると予想される。このため、電解液相サイズは  $10 \mu\text{m}$  オーダー以下とすることが望ましく、前述の架橋密度の制御で調整することとした。

## 2.2 ミクロ相分離型ゲルの構造

ゲルバルクの外観を図 1 に示す。外観の白濁は、電解液単独相が部分的に存在した MPSG の特徴であるが、バルクから分離した電解液は存在しない。

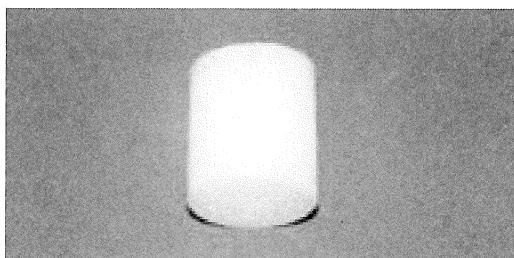


図 1 ミクロ相分離ポリマーゲル電解質（MPSG）  
Fig.1 Polymer gel electrolyte with micro phase separation (MPSG)

ゲルバルクの電子顕微鏡（SEM）像を図 2 に示す。ミクロ構造は前述の設計概念に沿った相分離構造であり、特に電解液相のサイズは、 $10 \mu\text{m}$  以下の好適なサイズであることが判る。

つぎに電解液を蒸発し易い溶剤に置換してから凍結乾燥させた状態の SEM 像を図 3 に示す。

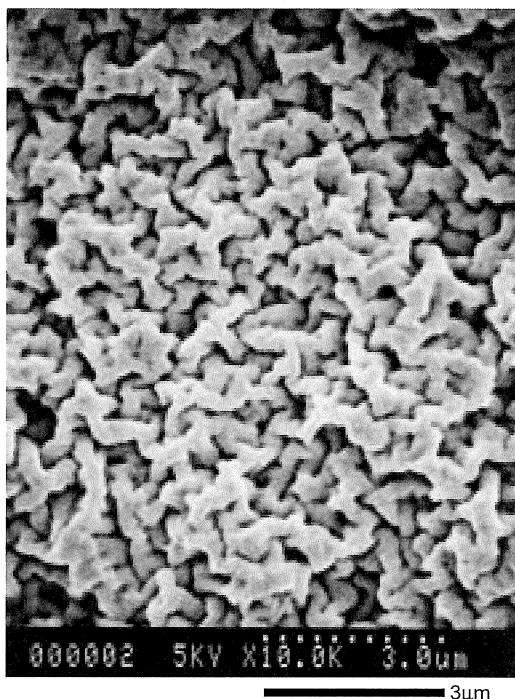


図 2 MPSG の SEM 像  
Fig.2 SEM image of MPSG

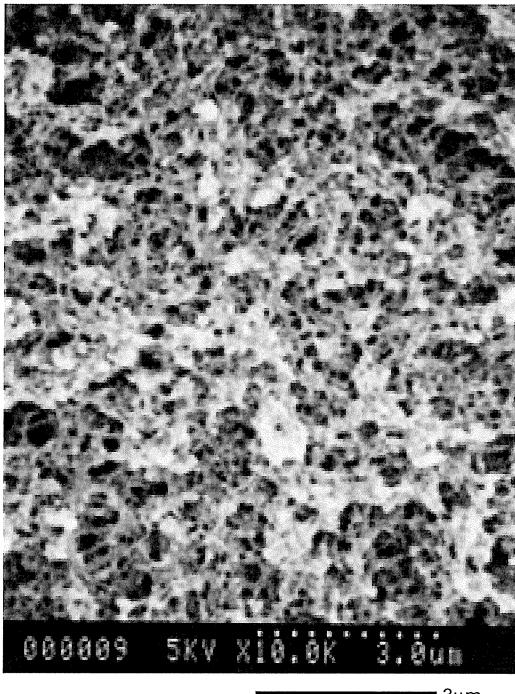


図 3 凍結乾燥した MPSG の SEM 像  
Fig.3 SEM image of freeze-dried MPSG

上述の図 2 と比較して、当該ゲルのバルクの骨格部は著しく収縮しており、バルクの骨格部は独立した単なるポリマーではなく、電解液で膨満したゲルであることが推定される。

### 2.3 ミクロ相分離型ゲルのイオン導電性

電解液比率とイオン伝導度の関係を図4に示す。本開発ゲルのイオン伝導度は、均一ゲルに比べて高い。電解液比率の増加に伴い、相分離構造が明確になり、イオン伝導度は上昇して、電解液単独の値に近づいた。

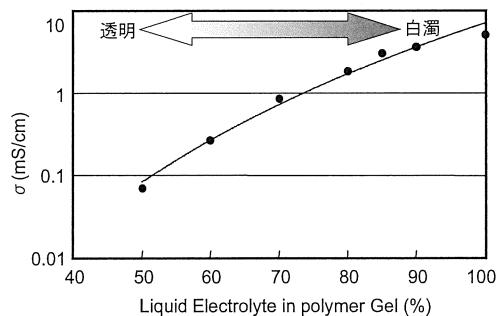


図4 MPSG の電解液比率とイオン伝導度の関係  
Fig.4 Relationship between weight ratio of liquid electrolyte in MPSG and ion conductivity

ゲルのイオン伝導度の温度依存性を図5に示す。温度依存性は比較的小さく、-20°Cの低温でも電解液単独と同じオーダーの特性を示した。

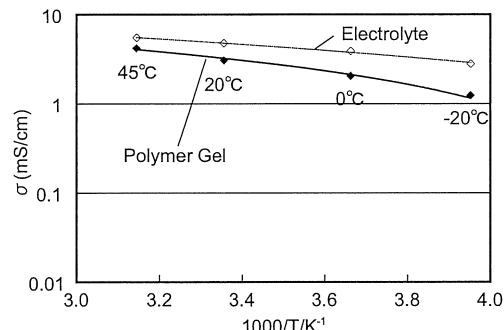


図5 MPSG のイオン伝導度の温度依存性  
Fig.5 Temperature dependency of ion conductivity of MPSG

### 2.4 ミクロ相分離型ゲルの機械強度

一般的にアクリレート系ゲルはPVDF系やポリアクリロニトリル(PAN)系のゲルに比べて、機械強度が低いと言われている<sup>5)</sup>。圧縮荷重を印加したときの変位と応力の関係を図6に示す。バルク破壊直前の約35%までは弾性的に変形し、約70gf/mm<sup>2</sup>で圧縮破壊した。このことからゲルは電極の充放電反応に伴う体積変化に十分に追従できることが推定できる。

他方、ゲルは架橋密度を上げて相分離構造を形成しているため、均一ゲルに比べて脆いが、セパレータとコンポジット化させることで実用上問題は無いと考えられる。

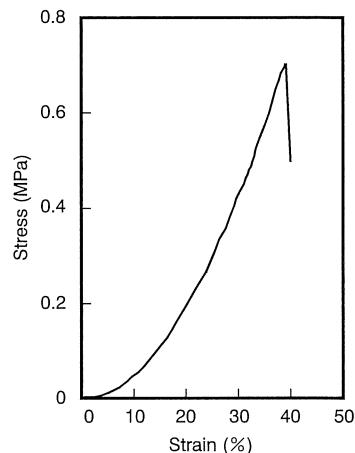


図6 MPSG の荷重変位と応力の関係  
Fig.6 Stress-Strain curve of MPSG

### 3. 1Ah 級ミクロ相分離ゲルリチウムイオン電池

#### 3.1 試作電池の構成及び諸元

前述のミクロ相分離型ゲルを用いて1Ah級ミクロ相分離ゲルリチウムイオン電池(MPSG-LB)を試作し、その基本特性を調査した。電池の外観を図7に、電池諸元を表1にそれぞれ示す。

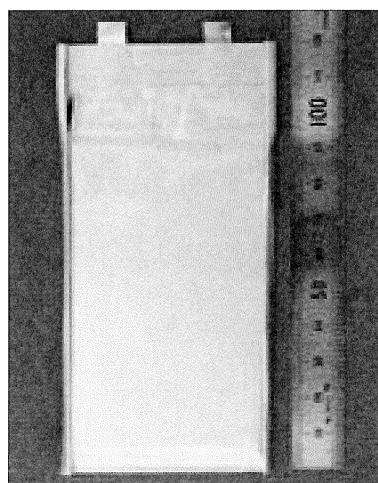


図7 1Ah 級 MPSG-LB の外観  
Fig.7 Appearance of 1Ah-MPSG-LB

表 1 1Ah 級 MPSG-LB の電池諸元  
Table.1 Specification of 1Ah-MPSG-LB

	1Ah-MPSG-LB	1Ah-LIB	1Ah-LGB
定格容量 (Ah)	1.0	1.0	1.0
充電電圧 (V)	4.1	4.1	4.1
定格電圧 (V)	3.7	3.7	3.6
質量 (g)	32	31	38
寸法 (mm)	60W × 110L × 3t		

正極および負極活性物質には、前報<sup>3)</sup>の衛星電池用活性物質と同じコバルト酸リチウムおよびフルドコーカス系人造黒鉛を用い、高出力特性を得るために導電剤、活性物質密度、電極塗工厚みを最適化した。

定格容量 1Ah (0.2CA, 25 °C) の試作電池 (1Ah-MPSG-LB) 及び、同じ構成の電解液電池 (1Ah-LIB)，均一ゲル電池 (1Ah-LGB：リチウムイオンゲル電池) を 25°Cで、0.2CA (0.2A) で放電した結果、充電電圧が 4.1V と低いにも拘わらず、試作電池の放電平均電圧は 3.7V と電解液系並みの高い値が得られた。

### 3.2 試作電池の基本特性

#### 3.2.1 放電特性

試作セルの放電特性を詳細に評価するために、25 °Cで、0.2CA (0.2A) と 1CA (1A) 放電を行い、同じ電極及びセパレータを使用して構成した電解液系電池と放電特性を比較した。その結果を図 8 に示す。

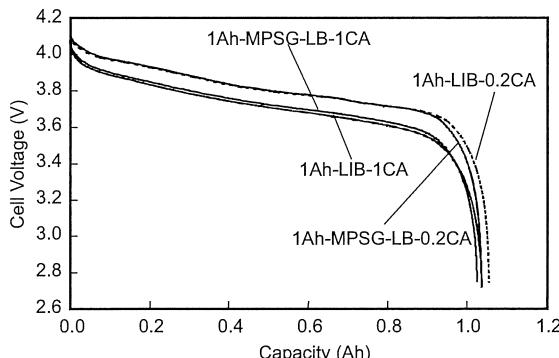


図 8 1Ah-MPSG-LB の 1CA 放電特性  
Fig.8 1CA discharge characteristics of 1Ah-MPSG-LB

試作セルは電解液系電池と同等の電圧曲線を示し、電解液系並みの優れた出力特性を有することが判った。

#### 3.2.2 温度特性

25°C環境下で満充電した後、-20, -10, 0, 25, 60 °Cの各環境温度下に 8 時間保管した後、夫々の評価温度で 0.5CA (0.5A) 定電流放電を行った結果を図 9 に示す。

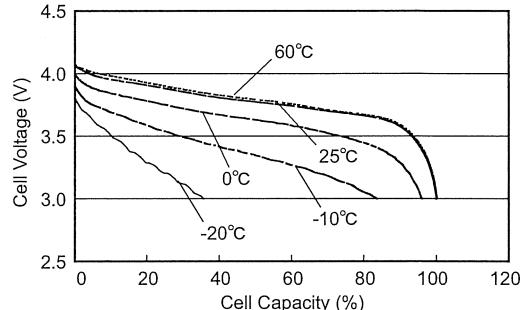


図 9 1Ah-MPSG-LB の温度別放電特性  
Fig.9 Discharge characteristics of 1Ah-MPSG-LB at various temperatures

60 ~ -10°Cまで、環境温度の低下に伴い、放電電圧は漸次低下するが、放電容量は余り低下せず、0°C 放電では 25°C 放電容量の 96%，-10°C 放電では 84% の容量を示した。一方、-20°C 放電では容量は 25°C 放電容量の 35%までに減少し、電圧低下も大きい。

#### 3.2.3 100% DOD サイクル寿命特性

100% DOD 充放電サイクルの進行に伴う容量変化を図 10 に示す。

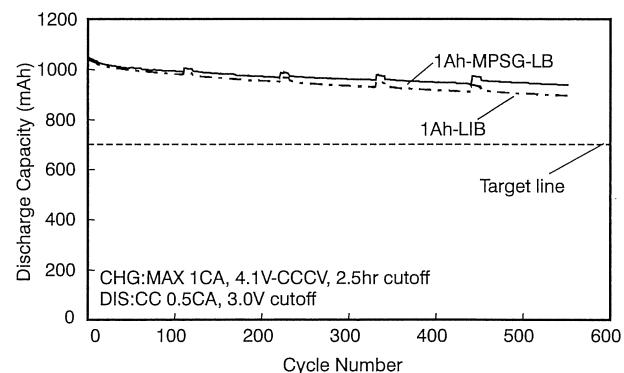


図 10 1Ah-MPSG-LB の充放電サイクル寿命特性  
Fig.10 Discharge capacity of 1Ah-MPSG-LB during cycle test at 100% DOD

充放電サイクルは安定しており、550 サイクルを経過して、放電容量は電解液電池と同等以上の初期容量比 91%を維持している。容量変化は最初の 100 サイクルで約 4%低下し、その後の充放電サイクル

では100サイクル当たり1%程度の低下に止まっているので、長寿命が期待できる。

### 3.2.4 フロート充電寿命特性

試作セルの満充電状態に於けるフロート充電寿命特性を評価した。

評価は、試作セルを25℃の環境で1ヶ月間4.1Vでフロート充電し、その後、容量確認のための充放電試験を実施し、これを繰り返している。その結果を図11に示す。

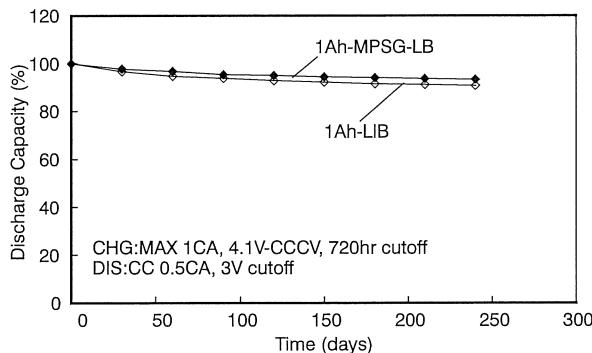


図11 1Ah-MPSG-LB のフロート充電寿命特性  
Fig.11 Discharging capacity of 1Ah-MPSG-LB during float charge test at 100% SOC

評価開始から8ヶ月が経過し、ゲル電池の電池容量の劣化は、電解液系より小さく、電解液系以上のフロート充電寿命が期待できる。これは、電解質をゲル化したことにより、ゲルの接着力により、電解液系電池に対して群間隔が良好に維持できるためと推測している。

### 3.2.5 保液力評価

保液力を評価するために、電池の一片を切断した後、 $0.5\text{gf}/\text{mm}^2$  の荷重を15分間印加して、質量減少を測定した。その結果を表2に示す。当該電池の質量減少は均一ゲル電池と同程度であり、電解液電池と比較して少ない。このことからMPSGの高い保液力が確認できた。

表2 1Ah 級 MPSG-LB の漏液量  
Table.2 Leakage of electrolyte liquid of 1Ah-MPSG-LB

	1Ah-MPSG-LB	1Ah-LIB	1Ah-LGB
質量減少 (g)	0.021	0.471	0.019

### 3.2.6 安全性評価

試作セルの安全性を評価するため、①過充電試験、②外部短絡試験、③釘さし試験、④ホットボックス試験を実施し、その結果を表3に示す。何れの試験項目についても、セルの破裂・発火・漏液はなく、高い安全性を確認できた。

表3 1Ah 級 MPSG-LB の安全性試験  
Table.3 Results of safety evaluation tests for 1Ah-MPSG-LB

試験項目	試験条件	評価結果
①過充電	満充電状態のセルを、1CAの電流で5時間定電流充電する	破裂・発火・漏液なし
②外部短絡	満充電状態のセルを、回路抵抗50mΩ以下の短絡回路で8時間短絡する	破裂・発火・漏液なし
③釘さし	満充電状態のセルに、直径3mmの釘を、150mm/secの速度で貫通させる	破裂・発火・漏液なし
④ホットボックス	満充電状態のセルを、5±2°C/minの速度で105°Cまで昇温し、その後、105°Cで6時間保持する	破裂・発火・漏液なし

## 4. 15Ah 級電池

### 4.1 試作電池のMPSG-LBの構成と諸元

高出力の大型電池の可能性を評価するため、1Ah級MPSG-LBの基本電池技術を基に、15Ah級MPSG-LBを試作した。セル外観を図12に示す。電池構成材料は1Ah級電池と同一であるが、宇宙用電槽による評価を行うため、電槽をソフトパックからステンレス製ハードケースに変更した。電極構造は大電流充放電に対応できるように極柱端子構造を改良した。当該電池諸元を表4に示す。

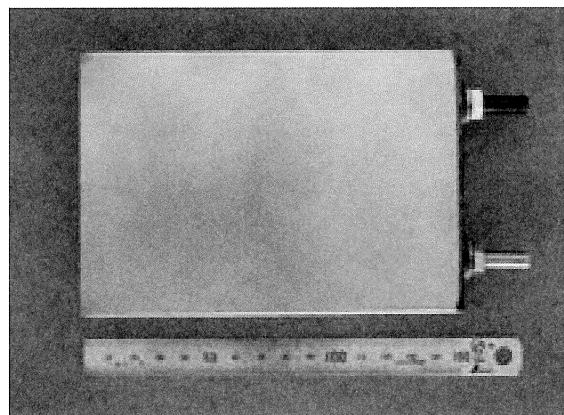


図12 15Ah 級 MPSG-LB の外観  
Fig.12 Appearance of 15Ah-MPSG-LB

表 4 15Ah 級 MPSG-LB の電池諸元  
Table.4 Specification of 15Ah-MPSG-LB

定格容量 (Ah)	15.0
充電電圧 (V)	4.1
定格電圧 (V)	3.7
質 量 (g)	700
寸 法 (mm)	100W × 140L × 24t
エネルギー密度 (Wh/kg)	79
エネルギー密度 (Wh/l)	165

#### 4.2 15Ah 級 MPSG-LB 試作電池の電池特性

##### 4.2.1 出力特性

電気自動車用密閉型ニッケル水素電池の出力密度測定方法の JEVs D 707<sup>8)</sup> に従い、種々の放電深度(DOD)における出力特性(出力密度)を測定した結果を図 13 に示す。満充電状態(0% DOD)では約 1000W/kg、85% DOD の深い放電状態においても 750W/kg の非常にすぐれた出力特性を示した。

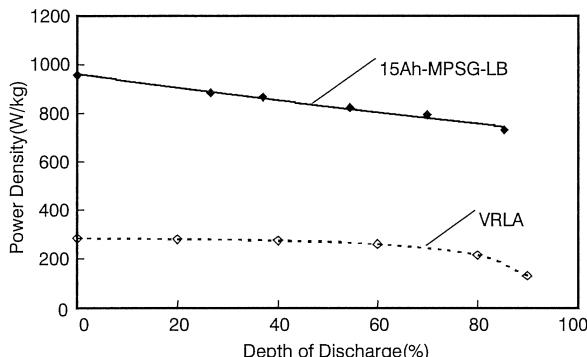


図 13 15Ah-MPSG-LB の出力密度と放電深度の関係  
Fig.13 Relationship between power density and depth of discharge of 15Ah-MPSG-LB

##### 4.2.2 100%DOD サイクル寿命特性

100% DOD 充放電サイクル試験の結果を図 14 に示す。放電容量は安定しており、320 サイクル目においても初期容量の 89% を維持し、長寿命が期待できる。

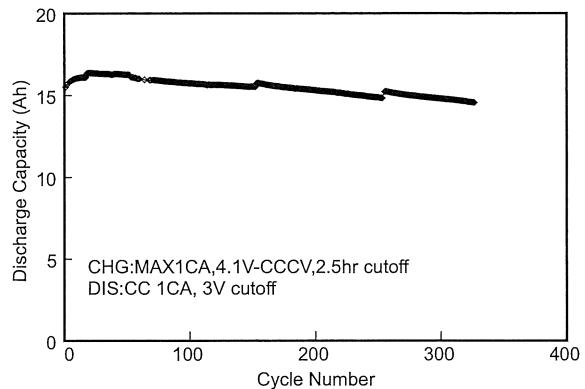


図 14 15Ah-MPSG-LB の充放電サイクル寿命特性  
Fig.14 Discharge capacity of 15Ah- MPSG-LB during cycle test at 100% DOD

## 5. まとめ

高出力が要求される産業電池用への展開を目的に、漏液の心配がない、安全性の高い中-大型のリチウムイオン電池の実現を図るため、特殊なミクロ相分離構造を有するゲル電解質(MPSG)を設計・試作した。

1Ah と 15Ah の電池を試作して評価した結果、均一相ゲルと同等の高い保液力、電解液系と同等の優れた出力特性を有し、さらに安定したサイクル特性、安全性が確認できた。

今後は、低温特性の改善を図り、各種用途に応じた出力特性の改良、耐久性の確認を行い、商品化を進める予定である。

## (参考文献)

- 1) 井土秀一, 2001 バッテリー技術シンポジウム要旨集, p2-2-1 (2001)
- 2) 片山禎弘, 中込達治, 紀氏隆明, 河野健次, 原田泰造, ユアサ時報第 90 号, 5 (2001)
- 3) 山本真裕, 高椋輝, 大登裕樹, 酒井茂, FB テクニカルニュース, No.56, 64 (2000)
- 4) 山本真裕, 大登裕樹, 江黒高志, 田島道夫, 廣瀬和之, 高橋慶二, 第 21 回宇宙エネルギーシンポジウム要旨集, 1 (2002)
- 5) 門間聰之, F.Alessandrini, S.Passirini, 大田洋邦, 伊藤弘顯, 逢坂哲彌, 第 41 回電池討論会要旨集, 260 (2000)
- 6) J. M~ Tarascon, A. S. Gozdz, C. Schmutz, F. Shokoohi, P. C. Warren, Solid State Ionics, **49**, 86, (1996)
- 7) 石古恵理子, 河野通之, ファインケミカル, **29**, No.11, (2000)
- 8) 電気自動車用密閉型ニッケル水素電池の出力密度及びピーク出力試験方法, JEVs D 707 (1999)

# 宇宙用 Ni-MH セルと火星探査機「のぞみ」での運用

## On-Orbit Operations of Ni-MH Cells for Space Applications

岩淵剛志 \*  
Takashi Iwabuchi

井奈福浩之 \*  
Hiroyuki Inafuku

石川幸嗣 \*  
Yukitsugu Ishikawa

### Abstract

To study the interaction between the Martian upper atmosphere and the solar wind, the mars orbiter, NOZOMI was launched in July 1998. In NOZOMI, 15 Ah Nickel metal hydride (Ni-MH) cells were used for the first time in the world to meet the requirement of lightweight of the orbiter. Two onboard batteries, each of which consists of 16 Ni-MH cells connected in series, have been normally operated in a cruise orbit up to the mars for about 3.3 years by means of a management method like charge or reconditioning operations. For future spacecraft, improvement in an increase in the internal pressure of the Ni-MH cells has been recently made so that charge operations of their onboard batteries may be made removable. This paper describes a development review of the Ni-MH cells aboard NOZOMI and their on-orbit operations.

### 1. はじめに

宇宙機器のための二次電池は、サブシステムの中でも重要なものの一つである。バッテリは長寿命で搭載機器へ安定した電力の供給が要求されている。これまで、太陽物理学衛星「ようこう」、磁気圏観測衛星「GEOTAIL」には、Ni-Cd セルが使用されて約 10 年間にわたり良好な性能を発揮している。しかしながら、これら Ni-Cd バッテリの質量は、人工衛星質量の約 10% を占めるため、バッテリの軽量化が強く要求されていた。火星の上層大気と太陽風との相互作用に関する研究を目的とする火星探査機「のぞみ」では、そのような問題を解決するため、以下の利点を持ち、実容量に基づく質量エネルギー密度が高い Ni-MH セルを開発し、軽量化を図ることとした。

- 1) 高エネルギー密度 (47Wh/kg)。
  - 2) Ni-Cd セルと同様な充放電特性を持っていることより、電源システムの大幅な変更を必要としない。
  - 3) Ni-Cd セルの負極を Cd 極の代わりに MH 極を適用することにより対処可能である。
- セルの開発においては、様々な試験が実施された。

その代表的なものとして、機械試験としては、ランダム振動試験、また電気試験では、充放電シミュレーション試験が挙げられる。これらの試験は衛星が低地球周回軌道において、通常想定される厳しい宇宙環境条件と同様に、火星探査を目的とする惑星ミッション特有の厳しい要求条件に対して、セルの適応可能性を評価するためのものである。これらの試験において、放電深度 (DOD) 25% での充放電サイクル試験は 12,000 サイクル以上、また 1/200C (A) の充電電流での 170 日間のトリクル充電試験などを実施した。さらに、火星軌道における 2 年間のミッション期間中に最大 DOD が 64% の負荷になることが、設計段階で予測されたため、そのような想定される軌道での DOD 負荷条件シミュレーション試験による確認を実施した。この結果、Ni-MH セルが火星探査機「のぞみ」の運用条件を十分満足することが確認できた。

火星探査機「のぞみ」は 1998 年 7 月 4 日に M - V ロケットの 3 号機によって、内之浦の鹿児島宇宙空間観測所から、世界で初めて Ni-MH バッテリを搭載して打上げられた。16 個の Ni-MH セルをシリーズ接続して構成される 2 つのバッテリは、打ち上げ

\* 産業電池事業部 アルカリ電池部

後の約3.3年間、火星までの航行軌道中、充電やりコンディショニング等の管理を実施し正常に運用されていることを確認している。1998年12月の地球スwingバイ(意図的に探査機を惑星の近くを通過させて、その惑星の重力によって探査機の速度および方向を変更する技術)によって、火星への遷移軌道に乗せるときに不具合が発生したため、軌道の再解析の結果当初より火星への遷移期間が長くなつた。今後約1.7年間の火星への遷移運行の後に火星軌道に投入されることになっている。上記のような管理を継続して、今後もバッテリの評価を継続していく。

今後打上げ予定の赤外線天文衛星「ASTRO-F」には、セルの内圧特性を改良したことにより、バッテリの運用管理が軽減されるセルを適用していく。以下に、Ni-MH セルの開発評価や「のぞみ」に搭載した Ni-MH バッテリの軌道上での運用・管理データについて記述する。

## 2. 宇宙用 Ni-MH 電池の開発

### 2.1 「のぞみ」の軽量化要求

火星探査機「のぞみ」は推進系の燃料を増やすために1996年に設計したものよりも搭載機器を15kg(約7.7%)軽くする必要があった。この要求は、軽量化バッテリの開発要求となった。第17号科学衛星「LUNAR-A」(月の内部にペネトレータを打ち込み、地震計、熱流量計の観測ネットワークを設置し、月の内部構造を探り、月の起源と進化に関する研究を行なうことを目的とする)にも同様に軽量化が要求された。以上のような要求に基づき、質量エネルギー

密度47Wh/kgを有する宇宙用 Ni-MH セルを開発した。

### 2.2 Ni-MH セルの軽量化について

Ni-MH セルのエネルギー密度は、負極活性物質に水素を採用することによって改善でき、Ni-MH セルは、同一容量の Ni-Cd セルよりも小さくまた軽量化が図れる。表1に、従来の Ni-Cd セルと軽量化 Ni-Cd セルおよび Ni-MH セルの仕様・性能諸元の比較を示す。

### 2.3 Ni-MH セルの仕様

「のぞみ」に搭載されている Ni-MH セルとバッテリの仕様諸元は次の通りである。

- セルの仕様諸元

定格容量 : 15Ah/2HR

寸法 (H × L × W) : 89 × 69.4 × 24.4mm

質量 : 465 g max.

質量エネルギー密度 : 47.2Wh/kg max.

- バッテリ仕様 : 16セル直列接続

寸法 (H × L × W) : 190 × 270 × 115mm

質量 : 8.7 ± 0.5kg

Ni-MH セルの質量エネルギー密度は、表1の設計値に対して最高で47.2Wh/kgが得られた。定格容量15AhのNi-MH セルとNi-Cd セルの外観を、図1に示す。

表1 宇宙用セルの仕様・性能諸元  
Table 1 Performance items of cells for space applications

軽量化項目	Ni-Cd (従来)	Ni-Cd (軽量)	Ni-MH
極板		・正負極板の軽量化 ・正負活性物質高密度化	・正極は同左 ・負極は水素吸蔵合金
電槽厚さ (mm)・材質	・0.7 SUS304L	・0.4 SUS304L	・0.4 SUS316L
セル質量 (g)	678	525	450
軽減率 (%)	0	22.6	33.6
質量エネルギー密度 (Wh/kg)	26.5	34.3	40.0
搭載衛星	EXOS-D, SOLAR-A (19Ah)	ASTRO-E (30Ah)	PLANET-B (15Ah)



図 1 Ni-MH セル（左）と Ni-Cd セル（右）の外観  
Fig. 1 External view of Ni-MH cell (left) and Ni-Cd cell (right)

#### 2.4 火星軌道での DOD とシミュレーション試験

初期のミッション計画において、「のぞみ」の火星軌道は近火点（火星周回軌道の火星地表に最も近く点）が 150km、遠火点（火星周回軌道の火星より最も遠い地点）は火星半径の 15 倍であり、1 周は 38.3 時間になると計画されている。搭載された Ni-MH バッテリは、図 2 に示す 2 年間のミッション期間中、火星到着後 330 日間は DOD64% を最高とし、さらに 100 日間は DOD40% の負荷放電が要求される。

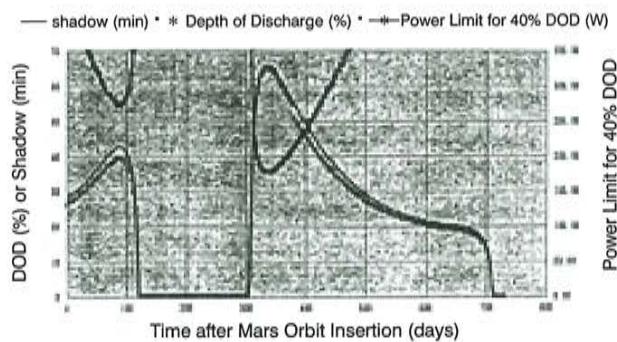


図 2 火星軌道の予測 DOD 特性  
Fig. 2 DOD characteristics predicted in Mars orbit

図 3 は、これらの DOD に基づくシミュレーション試験におけるバッテリの特性を示す。

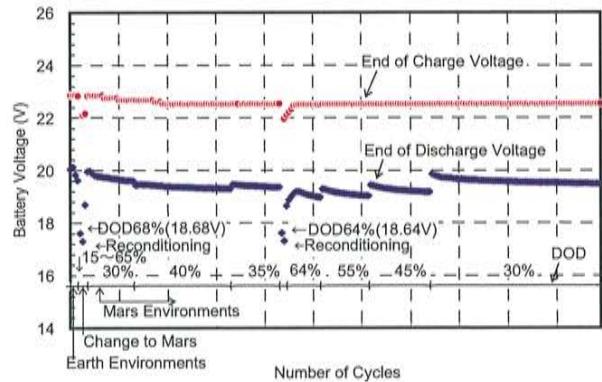


図 3 予測 DOD によるシミュレーション試験時のバッテリ特性  
Fig. 3 Battery characteristics at simulation test based on predicted DOD

DOD が最も深くなる DOD64%において、バッテリの終期電圧は 18.6V であり、衛星電源系の要求を満足することを確認した。

#### 2.5 トリクル充電試験

衛星本体は火星へ向かう遷移軌道のほとんどの期間、太陽に曝され太陽電池出力で負荷がまかなえ、バッテリが放電されないため連続充電状態となる。このため、バッテリは過充電状態となる。宇宙用 Ni-Cd セルのトリクル充電電流は、1/50C (A) から 1/100C (A) の間で使用されてきた。しかしながら、Ni-Cd セルと同一電流での長期間のトリクル充電によって、Ni-MH セルでは過充電状態となって、内圧が増加していく傾向となる。したがって、火星への遷移期間中の Ni-MH セルのトリクル充電条件を検討するために、様々な電流による充電試験を実施した。トリクル電流値を 1/150C (A) から 1/250C (A) まで変動させた試験により、1/200C (A) に決定した。図 4 に 1/200C (A) の電流値で、170 日間のトリクル充電試験を行った結果を示す。安定した電圧挙動と内圧上昇が抑えられる結果が得られている。

## 宇宙用 Ni-MH セルと火星探査機「のぞみ」での運用

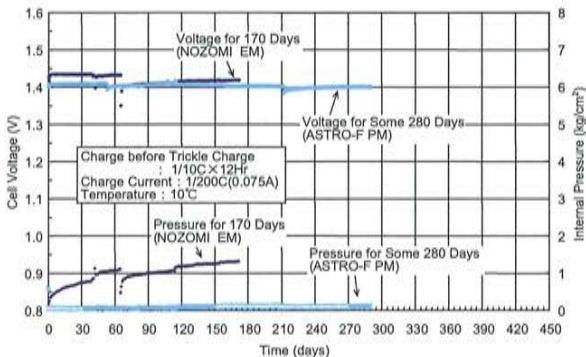


図 4 「のぞみ」および「ASTRO-F」向け Ni-MH セルのトリクル充電特性

Fig. 4 Characteristics of Ni-MH cell for NOZOMI charged at a current of 1/200C(A) for 170 days and of improved cell for ASTOR-F charged at the same current for some 280 days

## 2.6 Ni-MH セルの今後の対応

将来の赤外線天文衛星「ASTRO-F」の宇宙機器用バッテリでは、過充電時の内圧上昇をより少なくする改良を施した。充放電サイクル、連続トリクル充電時においても内圧上昇が極めて少なく、「のぞみ」で実施されているような補充電操作が必要なく、運

用作業の効率化が期待できる。図 4 は、1/200C (A) の電流で 280 日間トリクル充電したときの電圧と内圧を示すものであるが、改善した Ni-MH セルの内圧は極めて安定で、上昇傾向が少なくなっている。今後「LUNAR-A」へも改善されたバッテリを適用していくこととなっている。

## 3.「のぞみ」に搭載されているバッテリの運用

### 3.1 バッテリ構造と回路

「のぞみ」に搭載される 2 つのバッテリ (BAT-A と BAT-B) は、それぞれ軽量化のために、Mg 合金や Ti 合金からなる部品で構成されている。

図 5 に示すように、Ni-MH セルの温度分布を平均化するために、8 セルシリーズで 2 列にし、Mg 合金製の外部フレームによって小形・軽量のバッテリを構成している。

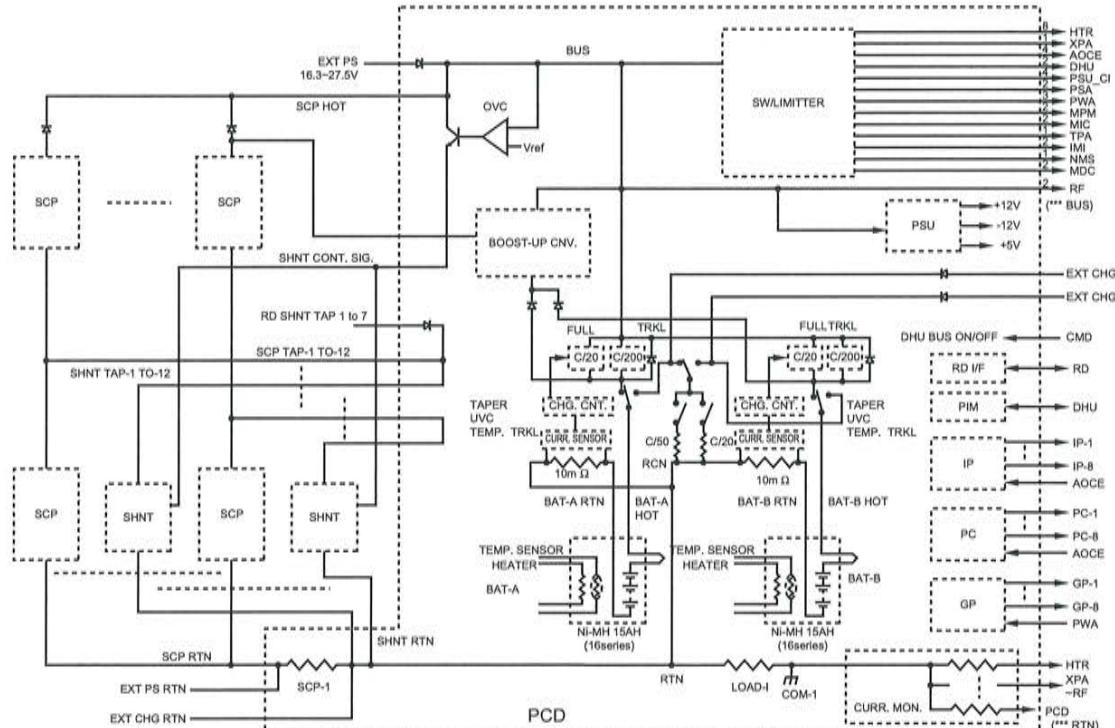


図 6 EPS ブロックダイアグラム  
Fig. 6 EPS block diagram

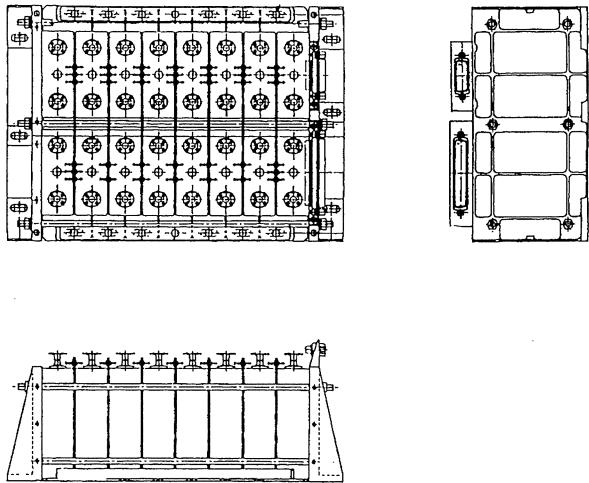


図 5 搭載電池の構造  
Fig. 5 Onboard battery structure

BAT-A および BAT-B のそれぞれは図 6 のブロック図に示すように、火星軌道において 1/20C (A) の電流で充電する構成となっており、放電ダイオードやコントロール回路を経由して、「のぞみ」の EPS バスラインに接続されている。

38 時間以上の周回軌道期間中にバッテリが太陽電池の代わりに電力を負担することができる。

また、定期的にリコンディショニング操作が可能な専用の回路を有している。

### 3.2 「のぞみ」搭載バッテリの軌道上での運用

1998 年 7 月に「のぞみ」が打上げられてから、約 3.3 年が経過している。

バッテリの運用は、打上げ後の姿勢変更に伴う DOD が約 10% の放電、また 12 月 20 日と 21 日の地球引力圈離脱時のスwingバイでの DOD が 25% の放電以外は、ほとんど全日照域で運用されている。

図 7 と図 8 に、火星までの遷移軌道と「のぞみ」に搭載されているバッテリの運用データを示す。

バッテリの温度設計は火星軌道を考慮して 5°C から 15°C の範囲であるが、火星への遷移軌道中は 20°C 以上を示している。バッテリ温度が周期的に高くなるという温度変化現象のほとんどは、衛星本体に当

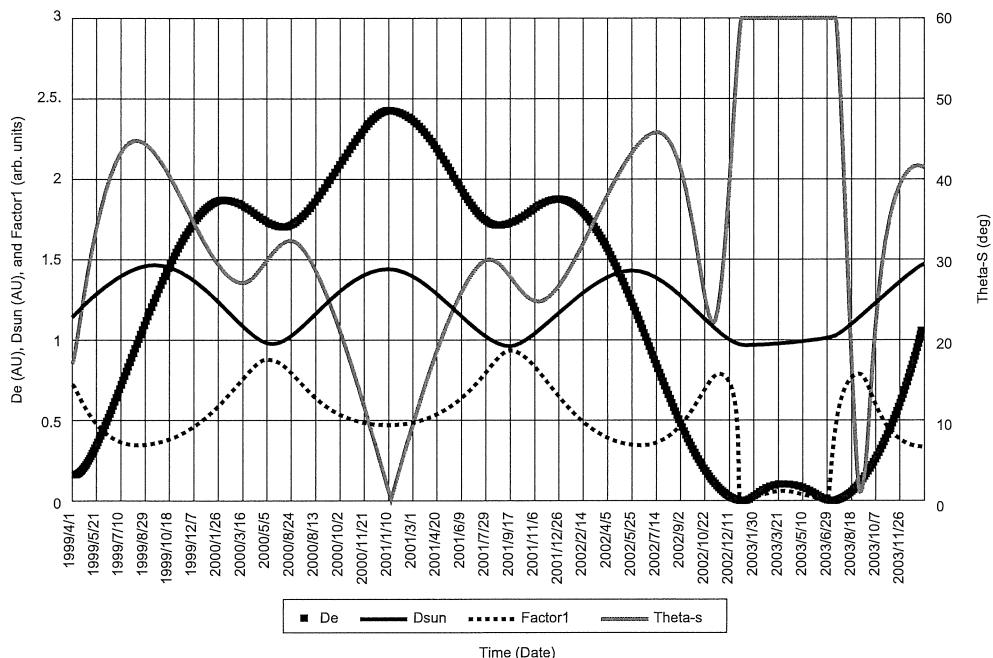


図 7 軌道運行時の関連データ

Fig. 7 Orbit-related data in cruise orbit. De, Dsun, Factor1, and Theta-S are the distance between NOZOMI and the earth, the one between the spacecraft and the sun, the relative solar radiation to NOZOMI, and the angle between the spacecraft spin axis and the sun, respectively

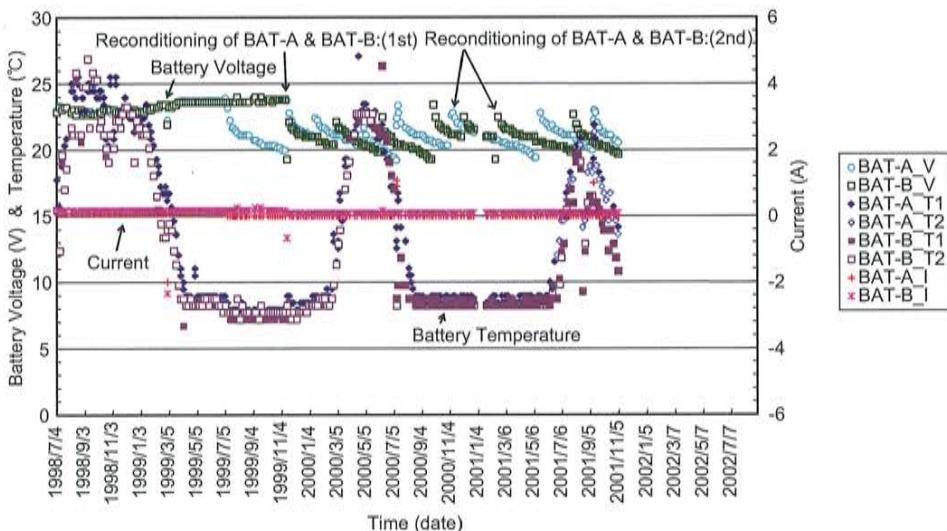


図 8 搭載バッテリの運行データ  
Fig. 8 Operation data of onboard batteries

たる太陽の輻射熱によるものである。長期間にわたる過充電による内圧増加を抑えるために、充電電流を  $1/200C$  (A) と小さくしている。

火星軌道での目的を効率よく達成するためには、バッテリの性能を常時把握し、また性能劣化を極力少なくすることが必要である。バッテリの管理方法は、これまで実施されてきた運用の詳細を調査確認したことによって、以下に示す方法として確立された。

BAT-A と BAT-B の充電操作は、それぞれの電圧を常にモニタしながら、どちらのバッテリも予め規

定した 19.2V に電圧低下したら充電を開始し、バッテリあたり 120% 容量になるまで充電する。その後 100 日間は静置状態にしておく。これはシミュレーション試験で、バッテリはフル充電状態から 19.2V まで約 100 日間を要することを確認していることによる。

この他バッテリを低い充電状態に保ち、衛星本体の突発的な故障にも対応できるように、2 個のバッテリは、50 日間スライドさせながら充電している。バッテリの容量変化を調査するために、リコンディショニング操作を 12 ヶ月毎に実施している。このよ

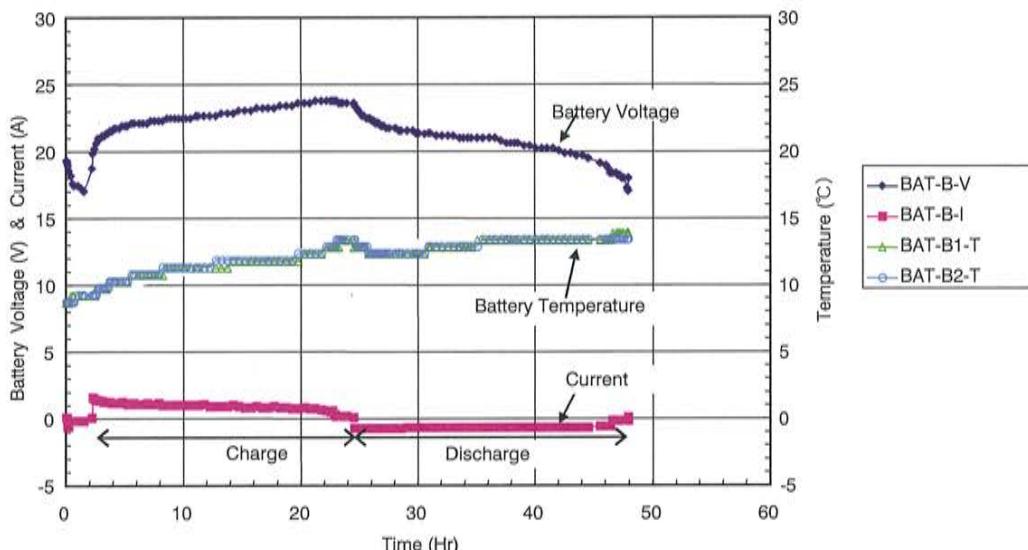


図 9 BAT-B のリコンディショニング時データ  
Fig. 9 Third reconditioning operation data of BAT-B

うな管理方法によって、図9に示すように第3回目(2001.11)のBAT-Bのリコンディショニング操作での容量は16.5Ahであった。初期容量は17.1Ahであることから、推定した年あたり3%の低下率範囲内であることを確認した。

1998年12月に地球スwingバイによって火星への遷移軌道に乗ることになっていたが、スラスター(衛星の軌道、姿勢制御のための推進力を与える装置)のバルブに不具合が生じ、燃料が不足することになり、軌道の再解析の結果、火星周回軌道への投入時期が後に変更となり、「のぞみ」は今後さらに1.7年間の遷移軌道を運航の後、2004年初めに火星周回軌道に投入されることになっている。

今後も、上記の管理方法によって、衛星に搭載されているバッテリの評価を継続していくことになっている。これまでの各種地上試験、運用データから、「のぞみ」に搭載されているNi-MHバッテリは、2年間の火星軌道で最大DOD64%となる火星探査ミッションを満足することができると確信している。

#### 4.まとめ

火星探査機「のぞみ」の軽量化要求を満足し、実際の能力として質量エネルギー密度47Wh/kgの15AhのNi-MHセルを開発した。そして、1998年7月に世界で初めてNi-MHセルが搭載された火星探査衛星が打上げられた。

16個のNi-MHセルをシリーズに構成した2つのバッテリは、火星までの遷移軌道中(およそ5年間)、適切な充電やリコンディショニング等を行い、運用していくことになっている。将来の赤外線天文衛星「ASTRO-F」に搭載されるNi-MHセルは、充電やリコンディショニング等の運用管理を不要とするように、セルの内圧増加の改良を行なっている。「のぞみ」は今後約1.7年の遷移期間後、火星周回軌道への投入が計画されている。

これまでの結果から、「のぞみ」に搭載されているNi-MHバッテリは、火星において最深のDOD64%負荷となる2年間のミッションに十分耐えることができると確信している。

#### 5.おわりに

本開発のバッテリが搭載されている火星探査機PLANET-B「のぞみ」は、1998年7月にM-V-3号機によって打ち上げられ、運用中である。今後Ni-MHセルを適用する「LUNAR-A」、「ASTRO-F」の打上げが予定されており、さらに性能改善に努めていく。

最後に、本電池の開発、運用にあたり、多大な御協力と御教示を頂いた文部科学省宇宙科学研究所殿の関係者各位に、深く感謝いたします。

なお、本報文は、2002年5月6日から10日にポルトガルで開催されたSixth European Space Power Conferenceで報告したものと日本語訳したものである。

#### (参考文献)

- 1) K. Takahashi, M. Tajima, K. Matsumoto, M. Kikuta, K. Fujita, T. Iwabuchi, "Development of Nickel Metal Hydride Cells for Scientific Satellite Applications, Proceedings of the Fourth European Space Power Conference," SP-369, 437-441, (1995)
- 2) K. Takahashi, M. Tajima, K. Matsumoto, M. Kikuta, T. Iwabuchi, "A Variety of Development Test Results of NiMH cells for Space Applications, Proceedings of the Fifth European Space Power Conference," ESA SP-416, 703-708, (1998)
- 3) K. Takahashi, M. Tajima, T. Iwabuchi, K. Fujita, K. Saitou, K. Inaniwa, T. Suzuki, H. Inafuku, "Trickle Charge and Cycle Life Test of NiMH Cells for Space Applications," Proceedings of the 7th Symposium on Scientific Satellites and Space Observations, Sagamihara, Japan, 123-126, (1999)

# 配電工事高所作業車用ニッケル・水素電源システムの開発

## Development of a Ni-MH Energy Storage System of Aerial Lift Vehicles for Construction of Electrical Distribution Lines

江 黒 高 志 \*  
Takashi Eguro

白 井 隆 \*  
Takashi Shirai

### Abstract

Following the initial stage of development works for environment-friendly aerial lift vehicle reported in 1998, Ni-MH energy storage system was constructed and vehicle tests were successfully conducted, resulting in the commercial utilization in 2001. The system included Ni-MH battery pack of 95Ah-48V in 2parallel series, active air cooling and charge controlling functions. In addition to the freeness from noise and exhaust gas which were inherent to conventional ICE-driven system, Ni-MH system showed the compact design due to its specific energy in volume and over 3 times of operation time length even in winter season due to its low temperature performance in comparison to lead acid battery system.

### 1. はじめに

既報<sup>1)</sup>で報告したように東北電力株式会社殿、株式会社アイチコーポレーション殿と弊社は、96年度から高性能なニッケル・水素電池を搭載した配電工事用高所作業車の開発に取り組んできた。

配電工事用高所作業車の作業用ユニットは、環境対応として排気ガスや騒音を低減するため、従来のエンジン式から鉛電池を動力源とする電池式へ転換が進んでいるが、鉛電池式作業用ユニットは、1) エンジン式に比べて作業時間が短い、2) 蓄電池の定期的メンテナンスが必要、といった問題があった。

97年度に完成したニッケル・水素電源システム搭載型研究試作車両U463-03(以下U463型車両という)は、各種作動性能試験において従来の鉛電池塔載型車両を大きく上回る作業性能を有することを確認した<sup>1)-4)</sup>。

その後、U463型車両によるフィールドテストを実施し、実作業における様々な課題抽出と解決を図った。

これらの開発成果を基に98年度から高所作業車の実用化に向けた取組みを進め、01年に実用化に至った。本報では既報<sup>1)</sup>に続き、配電工事高所作業車用

ニッケル・水素電源システムの実用化に向けた取組み内容について、その概要と実施例を述べる。

### 2. 開発内容

#### 2.1 車両

実用化に向けて試作したニッケル・水素電源システム搭載型高所作業車U488-02(以下U488型車両という)の主要諸元をU463型車両型と比較して表1に示す。またU488型車両の車両外観を図1に、搭載したニッケル・水素電池の主要諸元を表2に示す。ニッケル・水素電池は電気自動車用に市場で広く用いられている電池を使用し評価を行なった。

実用化にあたって、搭載車両としてU488型車両が選択された理由は、表1に示すようにU488型車両は先に試作したU463型車両に比べて小型であるため、鉛電池では搭載可能な電池容量が少なく、必要な作業時間が確保できない、工具などの積載スペースが狭いといった問題があり、ほとんど電池式が普及していないことから、ニッケル・水素電池の利点(小型軽量)を最も効果的に活用できるからである。

\* LE チーム

表 1 ニッケル・水素電源システム搭載型配電作業車主要諸元  
Table.1 Specification of aerial lift vehicle for the construction of electrical distribution lines equipped with Ni-MH energy storage system

型式		U463-03	U488-02
名称・種類		総合配電作業用高所作業車	活線引き込み用高所作業車
車両諸元	寸法	長さ [mm]	5,780
		幅 [mm]	1,900
		高さ [mm]	3,290
ユ ニ ツ ト	質量	総質量 [kg]	7,230
		最大積載質量 [kg]	400
バケット	最大地上高さ [m]	15.0	10.6
	最大作業半径 [m]	11.0	6.9
	最大積載荷重 [kg]	250	200
	最大吊上げ荷重 [kg]	490	—

表 2 U488 型高所作業車用電池諸元  
Table.2 Specification of battery for the type U488 aerial lift vehicle for the construction of electrical distribution lines

種類	ニッケル・水素電池	鉛電池
公称電圧	48V	48V
定格容量	190Ah / 5HR	160Ah / 5HR
モジュール電池の定格 <sup>*1</sup>	12V-95Ah	12V-160Ah
組電池構成	2 並列 × 4 モジュール直列	4 モジュール直列
モジュール電池の寸法[mm]	116W × 388L × 175H	220W × 505L × 210H
モジュール電池の質量 [kg]	19	57
組電池容積 <sup>*2</sup> [l]	63	93
組電池質量 <sup>*2</sup> [kg]	152	228

<sup>\*1</sup> : 蓄電池を構成する単位電池。

<sup>\*2</sup> : 組電池収納箱や付属品は除く。



図 1 ニッケル・水素電源システム搭載型高所作業車 U488-02

Fig.1 Aerial lift vehicle for the construction of distribution lines with Ni-MH energy storage system

## 2.2 電源システムの構成

開発した電源システムは組電池、充電器、電池管理装置、空冷システムから構成されている。以下に電源システムの主要な開発内容について述べる。

### 2.2.1 組電池

前述したように U488 型は U463 型に比べて電池搭載スペースの余裕が少なく、電池は車両後部の荷台に搭載されている。

表 2 には、既製の配電高所作業車に使用されている鉛電池の諸元も比較のために記載してある。鉛電池を用いた場合、高さが高いため荷台上部に突出してしまい、工具などの積載に不都合が生じていた。

一方、ニッケル・水素電池を用いた場合は高さが低く荷台下にコンパクトに収納することが可能で、工具積載の利便性を図ることができた。図 2 に示すように荷台の下にニッケル・水素電池が搭載され、外観からは電池式には見えない。組電池は、定格 12V-95Ah のモジュールを 4 個直列接続し、さらにこれを 2 並列に接続した 48V-190Ah の組電池構成とした。

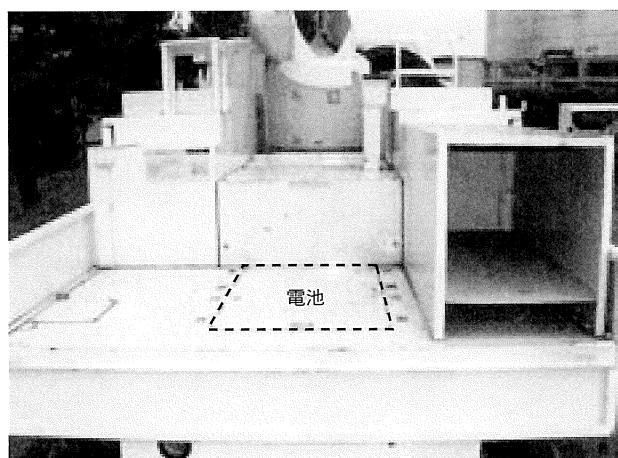


図 2 ニッケル・水素電源システム搭載型高所作業車 U488-02 (荷台)

Fig.2 Aerial lift vehicle for the construction of distribution lines (carrier)

### 2.2.2 並列電池の管理

開発した電源システムの特徴のひとつに、4 直列のモジュールの 2 並列化があり、この並列接続モジュールの管理が重要な開発アイテムの一つであった。

そこで、2 つのモジュールを並列に接続し、一方

のモジュールを加速劣化させた場合に生ずるそれぞれのモジュールの充放電電流や温度挙動の違いを調べた。

A, B2つのモジュールの空冷条件を変えて温度環境を変えた並列接続サイクル寿命試験における容量の推移を図3に示す。

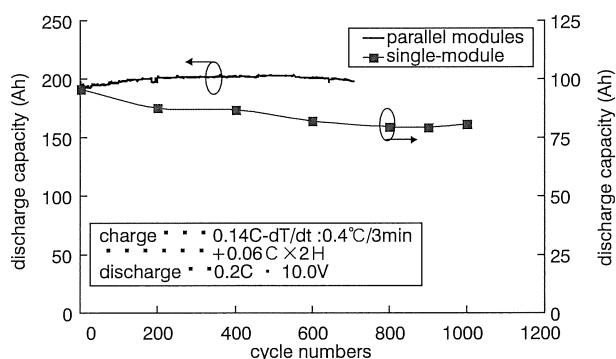


図3 空冷条件の異なる並列接続モジュールと単独モジュールのサイクル寿命試験

Fig.3 Cycle life test of the module in parallel connection under different air-cooling conditions (in comparison with the single module)

図3からサイクル中の容量の推移は比較的良好であることがわかる。図3には、比較のため、温度の高いモジュールAと同程度の温度(35°C)で行った

単独モジュールのサイクル寿命試験の結果を併記したが、単独モジュールの場合はサイクル中の容量低下がやや大きい。このことから、並列接続することによって仮に一方のモジュール(この場合はA)が性能劣化しても、他方の劣化の小さいモジュール(この場合はB)が性能を補うため、全体としては大きな劣化とはならないことが判る。

図4に並列接続サイクル試験の277サイクル目と695サイクル目の電池温度と充放電電流の挙動を示す。277サイクル目におけるA, Bの2つモジュールの充電電流挙動はほとんど同一である。放電電流は多少変動しているが、放電容量は両者共にほぼ同じ(約102.5Ah)である。

一方、695サイクル目では、A, B2つのモジュールの充放電電流の変動が大きくなり、放電容量にも差が生じている。

この時、モジュールAとBの温度差は、277サイクル目と695サイクル目とではほとんど同じであり、温度から性能劣化を検知することは難しい。一方、電流挙動の相違は顕著であり、特に充電時の電流挙動は277サイクル目と695サイクル目とでは明らかに異なる。

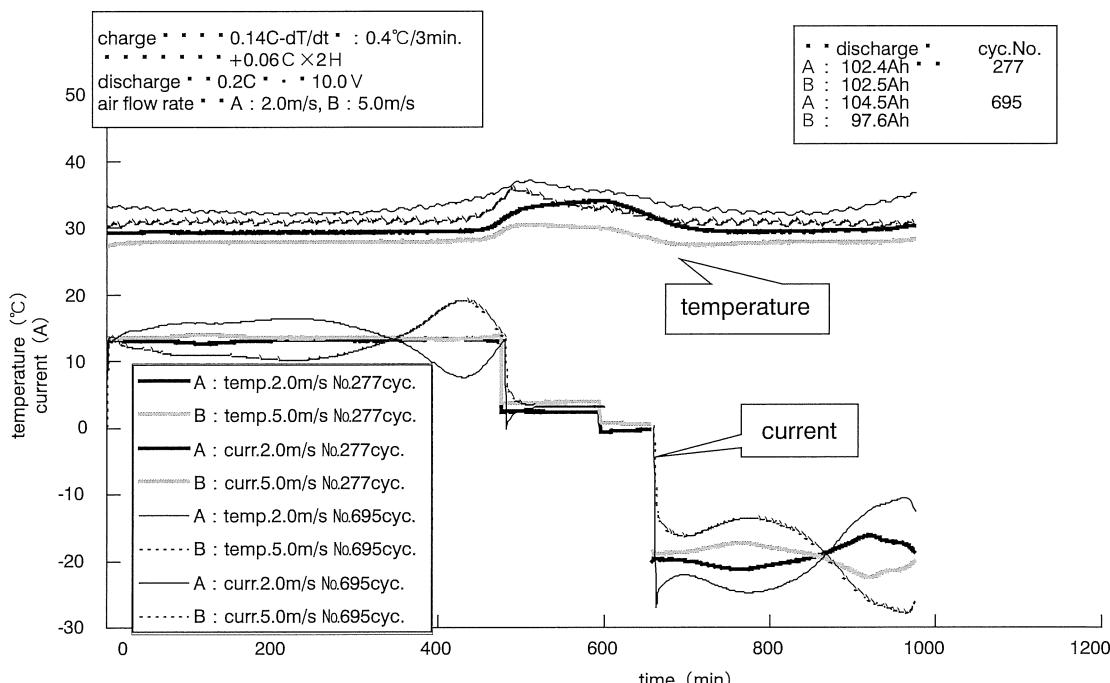


図4 空冷条件の異なる並列接続モジュールサイクル寿命試験(温度と電流の挙動)

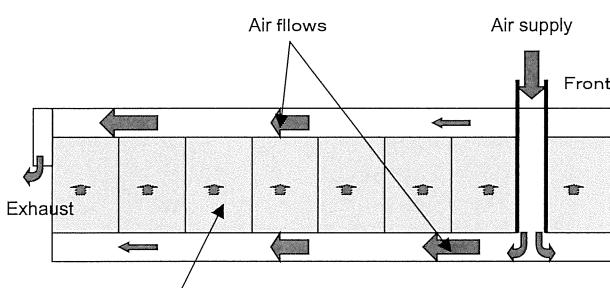
Fig.4 Cycle life test of the module in parallel connection under different air-cooling conditions (behavior of temperature and current)

よって、この2並列接続したモジュールの充電電流挙動の変化を把握することで電池の劣化を検知することが可能であり、開発した電池システムの電池管理装置の寿命検知機能に利用することとした。

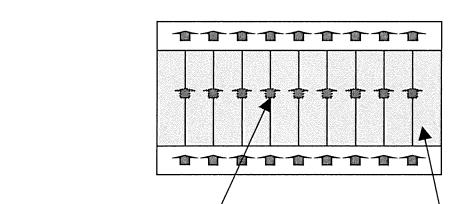
### 2.2.3 空冷システム

今回試作した車両では、後部荷台下に電池が一段積みに収納され、かつ組電池の上部に冷却ファンが配置され、冷却風を供給する構造となっている。しかし、組電地上部は配線類などがあることから、冷却風を組電池下部に導入し、下から各モジュールのセル間に送風する空冷経路設計を行ったが、空冷経路の圧損が大きく、一方、使用する冷却ファンは設置スペースの制限から容易に風量アップはできないことから、空冷均一化設計が必要となった。

モジュール電池の配置図と送風経路を図5に示す。組電池を専用充電器で充電した際のセル間風速分布を3次元的に図6,7に示す。図6は風向調整処置無し、図7は風向調整処置有りの場合の測定結果である。



[Side view]



[Front view]

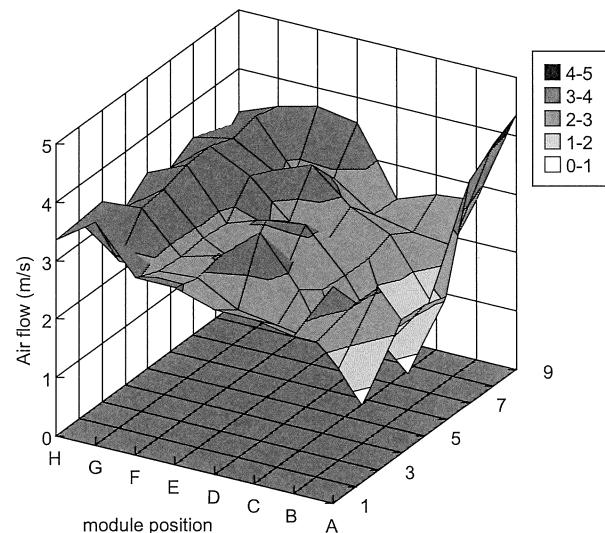
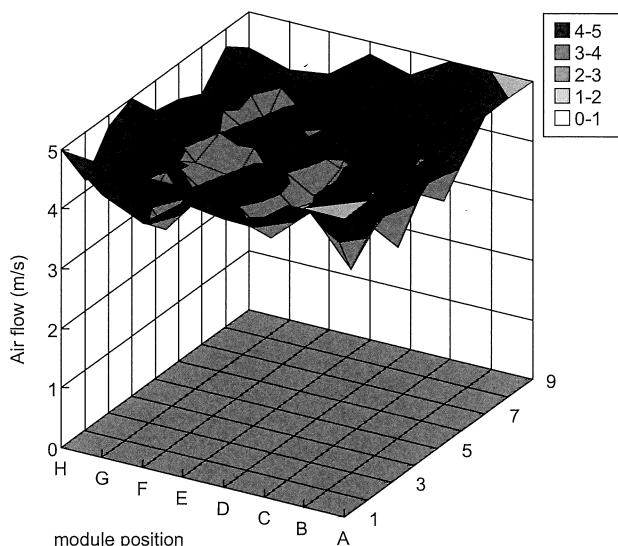
図5 組電池送風経路  
Fig.5 Air flows in the battery pack図6 風向調整していない組電池の充電末期風速分布  
Fig.6 Air flow distribution of the Ni-MH battery pack, without wind-direction adjustment図7 風向調整している組電池の風量分布  
Fig.7 Air flow distribution of the Ni-MH battery pack, with wind-direction adjustment

図6のように風向調整を行わない場合、各電池へ送風される風量は不均一が生じた。このことは電池間に温度不均一が生じ充電効率のばらつきをもたらすため、好ましくない。

そこで、収納箱底面の送風経路に風向調整機能を持たせ各電池へ送風される風量の均一化を図った。その結果、図7のように各セル間の空冷風速分布をかなり均一化することできた。

# 報文

## 配電工事高所作業車用ニッケル・水素電源システムの開発

### 3. 実車評価

開発したU488型車両は、(株)アイチコーポレーション殿によって車両の基本性能試験が行われた。また、東北電力(株)仙台南営業所殿と米沢営業所殿においてフィールドテストが行われた。

#### 3.1 基本性能試験

基本性能の確認を行った基準作動パターン試験結果を表3に示す。この試験では鉛電池との比較を行うため、160Ahのニッケル・水素電池と鉛電池(EB160)とを用いて行った。基準作動パターンとは、バケットの昇降・伸縮など、バケットの基本動作を評価するための基準パターンで、各基準パターン動作時の負荷電流は120～200A、時間は0.5～約1分である。

表3 U488-02 基本性能試験結果

Table.3 Results of standard performance tests of U488-02

	Ni-MH	Pb-acid
定格容量	160Ah	160Ah
作業時間	約5.3h	約1.7h
放電容量	177.69Ah	69.37Ah
周囲温度	-6.0°C	-3.1°C

冬季に行われた基準作動パターン試験で、ニッケル・水素電池駆動の場合は、鉛電池駆動の場合の約3倍の作業時間を得ることができた。これは、鉛電池は0°Cにおいて今回のような負荷電流(120～200A)では、放電容量が25°Cの半分以下に低下するのに対し、ニッケル・水素電池は0°Cにおいても25°Cとほとんど差の無い放電容量が得られるためである。

以上の試験結果から、ニッケル・水素電源システムを搭載したU488型車両は、鉛電池駆動の場合の課題である冬季の性能低下がほとんどなく、年間を通して安定した作業性を実現できることを確認した。

#### 3.2 フィールドテスト

東北電力(株)仙台南営業所殿、米沢営業所殿におけるフィールドテストの結果を表4に示す。

表4 U488-02 フィールドテスト結果  
Table.4 Results of the field tests in practical use of U488-02

	仙台南営業所	米沢営業所
試験期間	H11.4～H12.2	H12.9～H12.12
稼働日数	72日	22日
平均使用容量	38Ah	42Ah
最大使用容量	125Ah	110Ah

U488の1日当たりの電池使用量は平均30～40Ah、最大120Ahであり、搭載電池の容量は十分に余裕がある。鉛電池駆動の場合には、3.1項の基本性能試験において冬季においては70Ahしか得られなかつたことから、作業に支障をきたすことが予想される。

### 4.まとめ

今回開発した配電工事高所作業車用ニッケル・水素電源システムの特長を以下にまとめる。

① 電池の積載条件の厳しい中型車両であるU488型活線引き込み作業用高所作業車において、ニッケル・水素電池はその容積効率の良さを生かし、工具などの積載スペースをほとんど減じること無く、荷台下にコンパクトに収納することができた。

② 4直列モジュールを2並列とする構造では、仮に一方の4直列モジュールに性能劣化が生じた場合でも、他方の4直列モジュールがより多くの負荷を負担し、組電池の寿命延命が図られる。また、4直列モジュールの電流挙動を監視することで寿命劣化を検知できる電池管理システムを構成した。

③ 空冷経路設計の最適化により、組電池の均一な空冷が可能となった。

④ ニッケル・水素電池は、鉛電池に比較して低温性能が優れているため、冬季において従来の鉛電池搭載型の約3倍の作業が可能となることを確認した。

⑤ フィールドテストにおいてニッケル・水素電源システム塔載型配電工事高所作業車は、十分な作業時間を得ることができた。

⑥ 開発したU488型ニッケル・水素電源システム塔載型配電工事高所作業車は、主に住宅地における活線引き込み作業を主体としていることから、住宅地における騒音、排気ガスなどの環境問題防止に期待ができる。

## 謝辞

本共同研究を遂行するにあたり、多大なご協力と  
ご教示を頂いた（株）北日本アイチ殿、東北電力（株）  
仙台南営業所殿、並びに米沢営業所殿に、深く感謝  
いたします。

## （参考文献）

- 1) 江黒高志：“ニッケル・水素電池搭載の配電工事用高所作業車の開発”，FB テクニカルニュース，No.53，1 (1998)
- 2) 永野貢，佐藤文夫，小山 健，田沢秀徳：電機現場技術，37 6月，26 (1998)
- 3) 佐藤文夫，小山 健，永野貢，齊藤清隆，大平彰彦，江黒高志：平成 11 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，262 (1999)
- 4) 永野貢：『まわりあ』，41，82 (2002)

## 蓄電池診断装置の開発

### Development of SOH Monitoring System for Industrial VRLA Battery String

高橋清\*  
Kiyoshi Takahashi

渡壁雄一\*  
Yuichi Watakabe

#### Abstract

There is ever-growing demand for the highly reliable power backup system in order to support the advanced information technology and its applications. From its maintenance-free advantage, VRLA (valve-regulated lead-acid) battery has been replacing flooded-type battery in the market nowadays. Owing to its relatively short history in the market, battery life detection (SOH diagnosis) has not been fully developed.

Here is a compact, accurate and automated remote battery monitoring system to be installed at the vicinity of battery string which continuously measures internal impedance, cell voltage and temperature without system stop and sends the results and the battery life judgment instantaneously at any remote station as required and put it on the market. After more than 1year of operation tests in the field, the system proved very effective and reliable in monitoring industrial VRLA battery system.

#### 1. はじめに

VRLA 電池（制御弁式鉛蓄電池）は、液式（Flooded）電池と異なり、補水、比重測定など手のかかる保守が不要なため急速に市場で採用されてきた。しかし、取り扱いが容易な反面、劣化状態——即ち SOH（State of Health）を把握する簡便な方法が無く、80 年代の本格実用化当初から問題視されてきた<sup>1)</sup>。今日、実用化されている方法は部分放電法（ロードテスター）と内部抵抗法（インピーダンス法またはコンダクタンス法）に大別される。前者は組電池全体あるいは部分的に大電流で放電して電圧変化を計測する方法であるが、特殊な専門技能を要するばかりでなく電池のバックアップを一時的に解除せざるを得ないため、測定のタイミングが限られるなど実用上の制約がある。しかし、信頼性を重視する用途では、伝統的な計測法として広く使われている<sup>2)</sup>。後者は小電流の交流を印加して測定する方法が一般的で、小型のテスターを用いてより簡便にマニュアル点検が行われている。しかし、テスター機種や作業条件などにより測定値が変動し易く、周囲のノイズの影響も

受け易いなどの課題もある<sup>3), 4)</sup>。この測定は連続計測が原理的には可能であるが、経済性を含めて実用レベルに達したとは言い難い。

また、最近の情報通信技術の発展に伴って、バッカアップ電源の利用形態も分散化、屋外・遠隔地配置へと急速に変化しており、電池の状態監視を遠隔地から行いたいという要望も高まっている<sup>5)</sup>。弊社でも電池電圧と温度による異常を検知する機能を組み込んだ電源監視システムを上市している<sup>6)</sup>。しかし、VRLA 電池の劣化状態をより正確に測定するには、上記の内部抵抗を高精度に連続測定する技術の開発が必要である。このたび、内部抵抗、電圧、温度などをオンラインで連続測定してデータ蓄積するとともに、IT 技術を応用して遠隔地から監視することもできる「蓄電池診断装置」を開発したので、その概要を報告する。

#### 2. 蓄電池の劣化

MSE 形 VRLA 電池の容量・内部抵抗の使用期間による推移の典型例を図 1 に示す。蓄電池容量は使用開始から数年間は、若干の増加傾向を示すが、その後、時間の経過と共に次第に減少していく。そ

\* RM チーム

して寿命期になると急速に落ち込む傾向にある。この特性は、温度などの環境条件や充放電頻度などにより大きく異なる。一方、内部抵抗はセル間のばらつきはあるが、使用の初期段階では変化はほとんど見られず、ある時期から上昇傾向を示し、寿命が近づくと急速に上昇する。この内部抵抗を継続的に計測することにより個々の蓄電池の状態を把握することが可能となる。また、そのトレンドから蓄電池容量（劣化の状態）が予測でき、結果として適切な時期に蓄電池の計画的な更新が行えることになる。

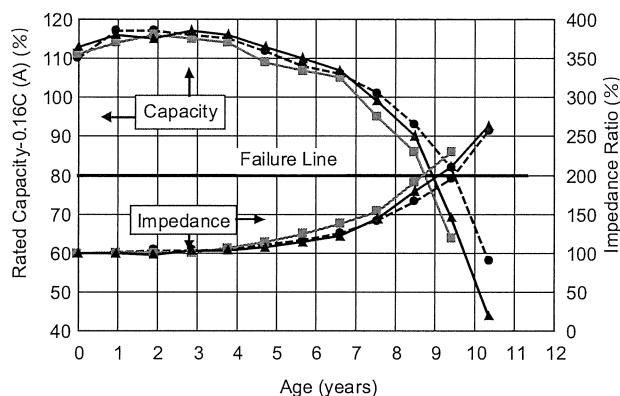


図 1 MSE 形鉛蓄電池の使用期間と内部抵抗・容量の関係

Fig.1 Change of capacity and impedance on MSE battery through the life

### 3. 蓄電池診断装置に求められる機能

#### 3.1 計測

図 1 に示したように MSE 形蓄電池の内部抵抗は、容量の減少と共に上昇するため、初期値の約 2 倍を劣化レベルとして寿命としているが、その 1 年前は約 1.7 倍である。内部抵抗により劣化状態を予測するには、この値を十分に確認できる計測精度・分解能・安定性を有した内部抵抗計が必要となる。

また、電源システムの信頼性を高めるためにセル電圧と温度の計測も同時に実行する。蓄電池は直列に接続して使用されるため、蓄電池全体の容量を支配するのは、最低容量セルの値となる。健全なセルで容量を表すと、最低容量セルは過放電になり、蓄電池のみでなく設備を損傷する可能性がある。このため、高信頼性を要求する設備では、全てのセルの内部抵抗を計測して状態を把握することが望ましい。

劣化時期に入りつつある蓄電池については、事前

に内部抵抗や周囲温度を計測して容量の低下傾向にあるセルを重点的に選択してパイロットセル計測を行うこともできる。この場合、偶発的な蓄電池異常の発生には対応できないため、計測していない蓄電池の状態確認は別途行うことが必要となる。

#### 3.2 監視

蓄電池の諸特性を計測するだけでなく、その状態がわかりやすく、かつ簡単に監視できる仕組みが必要である。設置場所での確認はもとより、遠隔地でも通信により確認できること、計測データが保存できること、さらにはそのデータをパソコンなどで容易に解析できること等が求められる。

最近は通信インフラの整備と低コスト化が進んでいる。特にユビキタスネットワーク社会の到来に対応するため、インターネットに代表されるネットワークでの監視ができる機能を持つことは、今後必須条件となる。

#### 3.3 構造

蓄電池の監視は、設置当初から行うのが望ましいが、すでに実使用中の蓄電池を監視する例も多いと思われる。そのため監視機器は、既存整流器の改造などを行う必要が無く、小型で、容易に設置でき、しかも低コストであることが望ましい。

### 4. システム構成

蓄電池診断装置は図 2 のブロック図のように、蓄電池センサユニットとシステムコントローラより構成している。それぞれの機器の連携は、マルチドロップ通信で行っている。

#### 4.1 蓄電池センサユニット

蓄電池センサユニットでは、内部抵抗・セル電圧・温度を計測している。セル電圧や温度の計測は、既存技術の応用で容易に実現できたが、内部抵抗をオンラインで精度良く安定して計測するには、以下のようないくつかの課題があった。

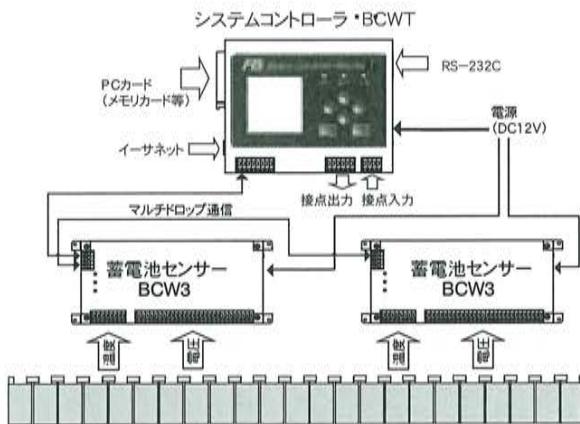


図 2 蓄電池診断装置の構成例  
Fig.2 System configuration of BCW (Battery Condition Watcher)

### 1)蓄電池の内部抵抗は非常に低い

例えば MSE500 形蓄電池 (500Ah) の初期値は  $0.3\text{m}\Omega$  程度であり、仮に計測のために  $1\text{A}$  の電流を流しても  $0.3\text{mV}$  の電位差しか得られない。この微少な電位差を精度良く安定して計測する必要がある。

### 2)充電器や接続機器から流入／流出する電流により、雑音電圧が発生する

### 3)計測する蓄電池以外のセルや接続機器等に分流し、計測誤差が生じる。

これらの課題を解決するため、以下の方策を実施した。

#### ①交流四端子計測法

微少抵抗を計測するため、交流四端子計測法を用いた。また、計測端子の固定方法や配線方式を改善して計測精度を高めた。

#### ②計測周波数

$1\text{kHz}$  程度の周波数の電流を印加して計測している例があるが、この周波数は商用電源等からの高調波の影響を受けやすい。本装置ではこれら外乱の影響を受けにくい計測周波数を選択した。

#### ③フィルタの採用

外部ノイズによる計測への影響を防ぎ、計測周波数成分のみを精度よく検出するため、特殊なフィルタを採用した。

#### ④計測電流

フィルタでの計測信号分離を容易にするため正弦波を使用した。

蓄電池センサユニットの主な仕様を表 1 に、また外観写真を図 3 にそれぞれ示す。

表 1 蓄電池センサユニット仕様  
Table.1 Specifications of battery sensor unit

項目	仕様
蓄電池セル電圧計測	測定範囲 / 分解能 : $0 \sim 2.500\text{V}$ (typ) / $0.001\text{V}$ 計測点数 : 連続接続時 13 点 任意接続時 7 点
蓄電池内部抵抗計測	計測範囲 : $0.000 \sim 2.500\text{m}\Omega$ / $0.001\text{m}\Omega$ 計測点数 : 連続計測セル 13 点 任意接続時 7 点
蓄電池温度計測	計測範囲 : $-20 \sim 70^\circ\text{C}$ (センサー) 計測点数 : 4 点
通信	マルチドロップ
インターフェース	LED (運転 : 緑 計測 : 黄 通信 : 赤)
表示ランプ	
機器設置環境条件	温度 : $-10 \sim +50^\circ\text{C}$ 湿度 : 80 % 以下 (結露無きこと)
電源	DC10 ~ 15V
寸法	W : $219\text{mm} \times H : 99\text{mm} \times D : 25\text{mm}$ (取付部含まず)
質量	約 350g (接続ケーブルを除く)

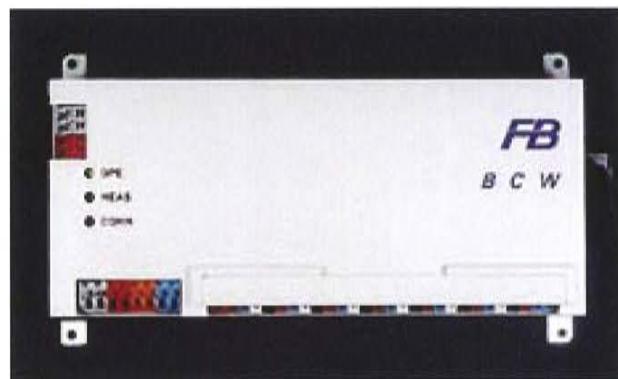


図 3 蓄電池センサユニット  
Fig.3 Outside view of battery sensor unit

## 4.2 システムコントローラ

蓄電池診断装置の主制御部で、電池センサーの計測制御・データの蓄積・画面表示・警報制御・外部機器との通信等を行っている。

### 1)回路構成

システムコントローラのブロック図を図 4 に示す。高性能 32bitRISC 型 CPU をコアに、グラフィックパネル回路・メモリー・通信用インターフェース回路・接点入出力回路・リアルタイムクロック・PC カードインターフェースおよび電源回路等より構成している。特に PC カードインターフェースは、ハードウェア変更をせずに様々な機能の追加が出来る長所がある。メモリ

一カードやモデムカードの他に、今後普及するであろう bluetooth や無線 LAN も PC カード型が一般に市販されており、基本的にソフトウェアのみの対応で接続が可能である。

## 2) ソフトウェア構成

リアルタイム OS 上で、計測・表示・警報・ネットワーク通信 (TCP/IP・HTTPd・SMTP 制御等)・ファイルシステム等のタスクを走らせて いる。計測タスクを最優先順位とし、ネットワーク通信を下位とした。

## 3) 監視形態

状態をわかりやすく、かつ簡単に監視を行える ようにするため、以下のように行った。

### ① 設置場所での確認

液晶表示器で、最新の計測値と過去の計測履歴 を表示する。計測値が規定値を逸脱した場合、 警報ランプが点灯し警報内容を液晶表示器に 表示する。

過去の計測データは、CSV 形式ファイルで保存 が可能となっており、フラッシュ ATA 型の PC カードをシステムコントローラのソケットに挿 入することで実行される。CSV 形式のファイル は EXCEL 等の表計算ソフトにて読み込めるた め、そこからトレンドグラフ等への展開が可 能で、劣化状態の確認を視覚的に容易に行える。

### ② 遠隔地での確認

本装置のイーサネット (10BASE-T) のコネク ターに接続することにより、web 上で監視がで きる。表示には特別なソフトは不要で、ブラウ ザー (IE またはネットスケープ) で表示を行う ことができる。液晶表示と同様に、最新の計測 値と過去の計測履歴を表示する。また、警報の 発生項目・警報の履歴も表示できる。過去の計 測データはホームページの表示以外に、CSV 形 式ファイルでダウンロードできるしくみとした。 ホームページの表示例を図 5 に示す。

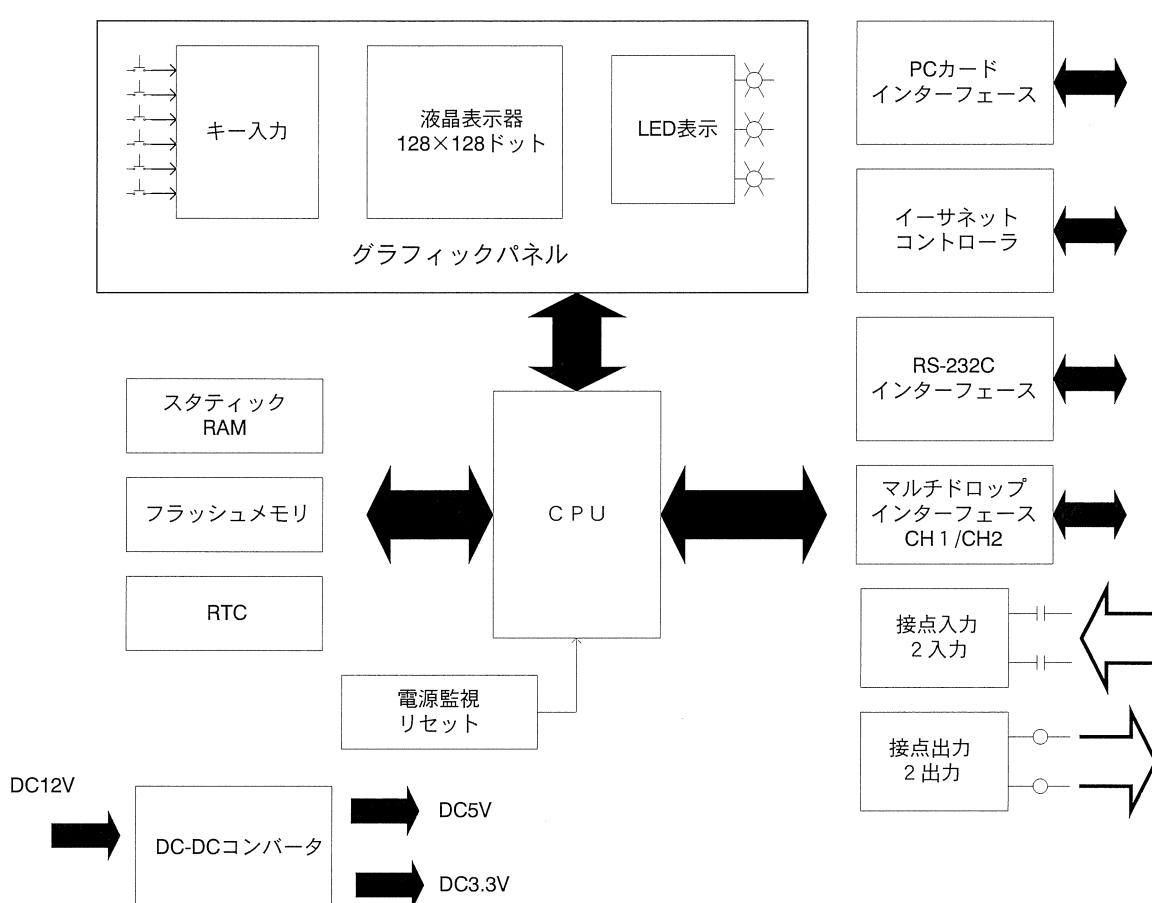


図4 システムコントローラブロック図  
Fig.4 Block diagram of system controller

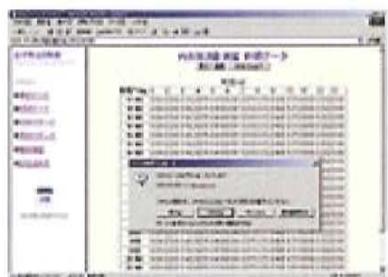
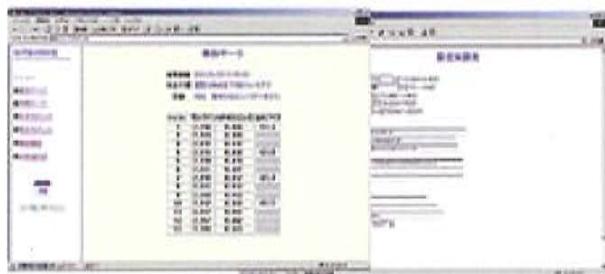


図 5 ホームページ表示例  
Fig.5 Example of homepage displays

システムコントローラの主な仕様を表2に、外観写真を図6に示す。

表2 システムコントローラ仕様一覧  
Table.2 Specifications of system controller

項目		仕様
液晶表示	液晶表示器	STN 形 128 × 128 ドットグラフィック LCD, バックライト付き
	表示内容	最新計測値・計測値履歴・警報・警報履歴・設定変更
データロギング	セル電圧計測値 内部抵抗計測値 温度計測値	時間データ（24時間）の表示、日平均データの記憶
	警報	警報の発生と復旧を記憶
警報監視項目		蓄電池セル電圧低下 蓄電池温度上昇 蓄電池内部抵抗異常等
通信	インターフェース	イーサネット（10BASE-T）、 RS-232C、マルチドロップ
	アプリケーション	HTTPD, SMTP
蓄電池センサー接続可能数		1 ~ 7 台 (Max91 セル)
表示ランプ		LED (運転、計測、警報)
外付け記憶デバイス		PC カード (フラッシュ ATA またはコンパクトフラッシュ)
機器設置環境条件		温度 : 0 ~ 50 °C 湿度 : 80 % 以下 (結露無きこと)
電源		DC10 ~ 15V
寸法		185mm × 145mm × 36mm (取付含まず)
質量		約 500g



図 6 システムコントローラ外観  
Fig.6 Outside view of system controller

## 5. フィールド試験状況

本装置は、多くのユーザーのご協力のもとで、計測精度・装置の異常の有無、監視方式の不具合の有無等を検証するため、1年以上にわたりフィールド試験を行ってきた。

本装置で計測したデータの具体例を以下に示す。図7は、蓄電池設置後6年を経過した蓄電池の内部抵抗・電圧・温度のトレンドグラフである。内部抵抗は上昇傾向にあるが、変化の割合は約1年間で10%以下と少ない。前記第2項に示した弊社の「図1 MSE形鉛蓄電池の使用期間と内部抵抗・容量の関係」データと照合すると、蓄電池はまだ劣化状態に達していないことがわかる。

図8は、設置後9年を経過した蓄電池の内部抵抗のトレンドグラフである。設置して5ヵ月間ではあるが、その間10%以上変化している。この傾向から判断すると年間20~50%の上昇となるためこの蓄電池は劣化状態と判断される。

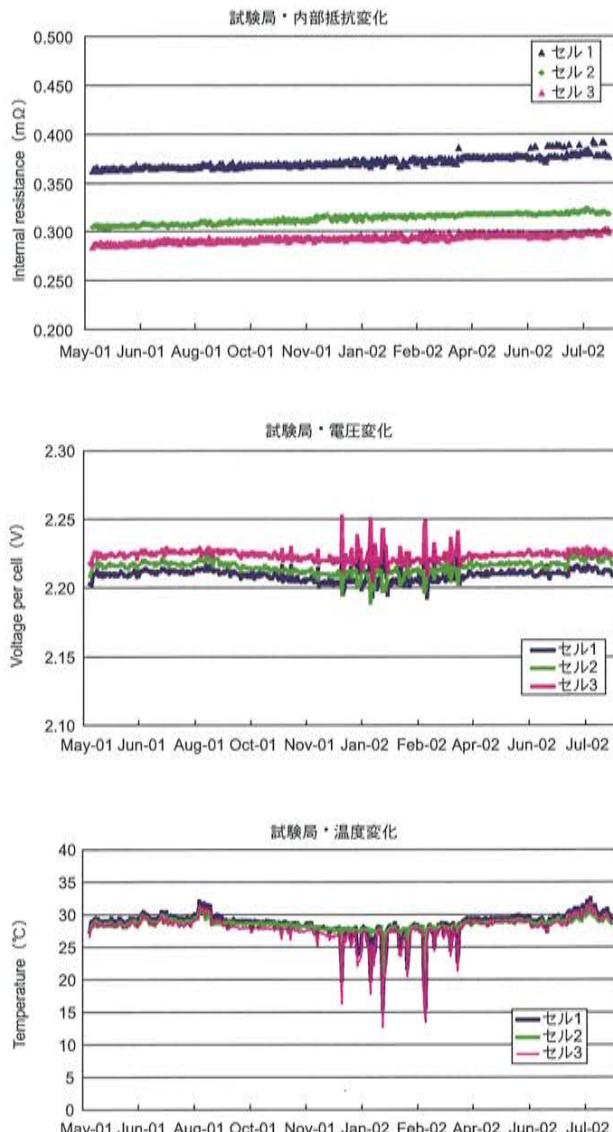


図 7 市場電池データ (MSE 形蓄電池 設置後 6 年経過)  
Fig.7 Results of customer site test-1

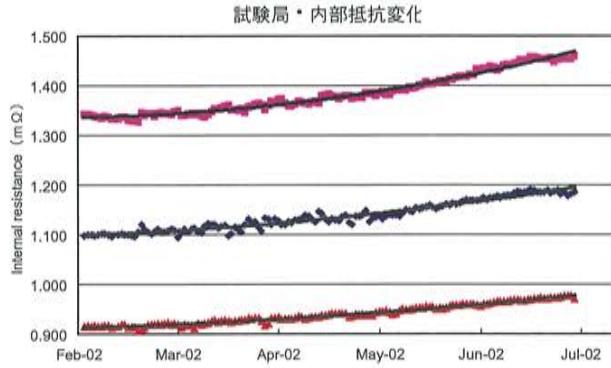


図 8 市場電池データ (MSE 形蓄電池 設置後 9 年経過)  
Fig.8 Results of customer site test-2

フィールドテストでは、いずれも良好に蓄電池の監視を行うことができ、これらのデータを基に寿命劣化診断を確実にかつ容易に実現するという目的は、ほぼ達成できたと考えている。

また、その他にフィールドテストでは以下に示すように数々の貴重なデータも採取されている。

- ①蓄電池の収納方法により温度差を生じ、その結果、温度の高い蓄電池の劣化速度が速くなっている現象が確認された。特に換気の悪い蓄電池箱へ収納した場合に顕著に現れる。
- ②内部抵抗値は温度により変動する。設置場所が温度管理されていない場合の劣化状態判定には蓄電池内部抵抗の温度補正を行う必要がある。
- ③接続する機器から常時大きなリップル電流が蓄電池に印加される場合や、過大な輻射ノイズを発する場合には、その影響を受け、計測誤差が目標値に収まらないことがあった。これら機器への対応を可能にするためには、特殊な蓄電池センサーを検討する必要がある。

## 7.まとめ

IT 技術を駆使した蓄電池監視の試みは、始まったばかりである。弊社は蓄電池メーカーとして、高い品質の蓄電池の開発と供給に専念してきたが、さらに高信頼度の蓄電池開発のためには、フィールドデータの収集、解析は不可欠であると考えている。そのような観点で、機器メーカーの診断装置とは一線を画したシステムに育成していきたいと考えている。

# 報文

## 蓄電池診断装置の開発

### 謝辞

本装置の開発・評価についてご指導をいただきました、ドコモエンジニアリング北海道株式会社の皆様に深く感謝いたします。

また、蓄電池の導入計画、メンテナンスを担当されているユーザーの皆様から、システムのレベルアップに対する有意義なご助言、ご示唆をいただき、深く感謝致します。

弊社からは保守などに関する情報をお客様に提供して、より良いパートナーシップを構築していくたいと念願しております。

### (参考文献)

- 1) D.O.Feder, FB テクニカルニュース, No.56, 3 (2000)
- 2) I.Kiyokawa, K.Niida, T.Tsujikawa and T.Motozu, INTELEC2000, 703 (2000)
- 3) H.A.Jongerius and D.C.Cox, INTELEC2001, 313 (2001)
- 4) H.Dupendant and R.Ferger, INTELEC2001, 416 (2001)
- 5) J.Hoover, INTELEC2000, 103 (2000)
- 6) 高橋清, FB テクニカルニュース, No.56, 76 (2000)

## 電池の輸送安全について

### Safe Transportation of Batteries

富田行雄 \*  
Yukio Tomita

#### 1. はじめに

電池は内部にエネルギーを貯蔵、流入と放出を繰り返す電気製品であることや、電解液などの構成材料に腐食性物質などが含まれているため、使用時や製作時のほか、輸送時についても安全に対する配慮が求められている。

国連の経済社会理事会は国際間の危険物の安全輸送確保のため、危険物輸送専門家委員会を設置し、危険物の国際間輸送基準の策定を行っている。この委員会では、陸、海、空の運送モードにおける危険物の輸送基準となる「危険物輸送に関する勧告」(国連勧告)を作成し、これを各国や輸送機関が法制化を行い運用に供されている。

電池にあっては、従来からリチウム一次電池などについて輸送を規制する国連勧告があったが、この勧告では近年になり携帯電話やノートパソコンなどのポータブル機器に広く使用されるようになったりチウムイオン二次電池を規定していないなどの問題があったため、危険物輸送専門家委員会において改訂作業が行われ、試験方法や特別条項などを改訂することとし2000年12月に審議を終了した。

本文は、国連の危険物輸送に関する勧告と電池の輸送安全の概要について述べるものである。

#### 2. 輸送規則の概要

1) 日本では、航空法で危険物の航空輸送を原則として禁止しているが、航空法施行規則により、一定の要件を満足するものについては輸送禁止が解除されている。

日本は、昭和59年から、国連勧告と基本的に整合した\*ICAO規則の内容を全面的に取り入れている。

\*ICAO: 国際民間航空機機関 International Civil Aviation Organization

2) 船舶による危険物の国際運送は、海上における人命の安全のための\*SOLAS条約に基づき、国連危険物輸送専門家委員会との協力で、\*\*IMO(国際海事機関)勧告として「国際海上危険物規程」(\*\*IMDG Code)が策定されている。日本では船舶安全法、危険物船舶運送及び貯蔵規則(危規則)となり運用されている。

\*SOLAS: 国際海上人命安全条約 International Convention for Safety Of Life At Sea

\*\*IMO: 国際海事機関 International Maritime Organization

\*\*\*IMDG Code: 国際海上危険物規程 International Maritime Dangerous Goods Code

3) 陸上での危険物輸送は、欧州域内の鉄道運送や道路運送に関する規則や、北米での米国運輸省の規則などで規制されていて、これらの規則は国連勧告と基本的に整合している。

日本国内での陸上における危険物輸送は消防法、毒劇物取締法、火薬類取締法、高圧ガス保安法が適用され、国連勧告には整合していない。

#### 3. 危険物輸送の基本事項

以下に危険物輸送の基本事項を述べる。

1) 輸送の際に危険とされる物品は、危険物リストに品名が化学名などの固有名詞で記載され、そのほかクラス、国連番号、容器等級などが明示される。

\* 産業電池事業部

# 技術解説

## 電池の輸送安全について

- 2) 危険物を運送する上で、まず危険物はその危険性の種類により、9つのクラスに分類される。一つのクラスに該当する危険物はその危険性の大小によって3つの容器等級の一つに区分される。
- 3) 品名 (PSN : Proper shipping Name) は、輸送物及び輸送関連書類に正確に記載又は表示することが要求される重要なもので、危険物リストに記載されている品名から該当のものを選択して使用する。
- 4) PSNとともに示される4桁の番号を国連番号といい、いわゆる「危険物の認識番号」として広く利用される。国連勧告の危険物リストには、UN0004からUN3356までPSNに対応した約2500個の国連番号が記載されている。
- 5) 危険物は、容器包装が施され通常の運送方法において危険な状態にならないよう、安全が確保されて初めて運送が可能になる。
- 6) 個々の危険物に対して使用できる容器包装の種類は、IMGDコード、IATA包装基準などにより、許容容量や質量の条件とともに規定されている。
- 7) 容器が危険物の運送に適するか否かは、その容器の性能試験を実施して判定を行う。落下試験、気密試験、水圧試験、積み重ね試験等があり、それぞれの容器等級によって要求条件が異なる。
- 8) 荷送人は、危険物に容器包装を施し、標札を貼付し、品名及び国連番号を表示して輸送物を完成させる。また、荷送人は、危険物の明細を記載し諸規則に適合して輸送物が作られたことを証明した運送書類（危険物明細書等）を輸送人に提出し、ここで荷送人の義務を果たしたことになる。

## 4. 電池と危険物

図1に電池と危険物の関係を示す。この電池の分類図は、国連勧告に基づく危険物リストにより、電池と危険物の関係を分かりやすく示す目的で作成したもので、一般の電池分類とは異なっている部分がある。

この図で分かるように、電池においてはクラス8

(Corrosives : 腐食性物質) に鉛蓄電池とアルカリ蓄電池などが、クラス9 (Miscellaneous dangerous substances & articles : 有害性物質) にリチウム金属電池（一次電池）、リチウムイオン二次電池、リチウム金属二次電池が指定されている。

なお、一般にはなじみがなく普及はされていないが、ナトリウムを含む二次電池、例えばナトリウム硫黄電池が、クラス4 (Flammable solids: 可燃性物質) に指定されている。

したがって、該当する電池は、基本的には輸送においては「危険物」として輸送が規制され (Restricted), 規定された方法での輸送が必要である。

しかしながら、これらの電池は広く普及し、通常に取り扱われれば安全であることが分かっているものであり、定められた要件を満足するものは輸送規制から免除される (Exempted)。次項に輸送規制の対象になる電池の輸送について述べる。

## 5. 電池の輸送規制

### 5.1 鉛蓄電池及びアルカリ蓄電池の場合

以下に従来から一般に広く使用されている鉛蓄電池とアルカリ蓄電池について述べる。

#### 5.1.1 鉛蓄電池

- 1) クラス：使用している電解液の関係で、クラス8（腐食性物質）に指定される。
- 2) 国連番号・品名：以下のように分類され、除外規定により輸送条件が異なる。
  - a) 非防漏型：UN2794 Batteries wet filled with acid
  - b) 防漏型：UN2800 Batteries wet non-spillable
- 3) 除外規定：防漏型電池にあっては、容器試験は不要となり、55°Cで電解液がケースの亀裂、ひび割れ等から流出しないこと、かつ流出する可能性のある液体を含まないこと、包装の際、短絡を起こさないよう電極が保護されていることを条件に輸送規制から除外される。

#### 5.1.2 アルカリ蓄電池

- 1) クラス：この蓄電池も使用している電解液の関

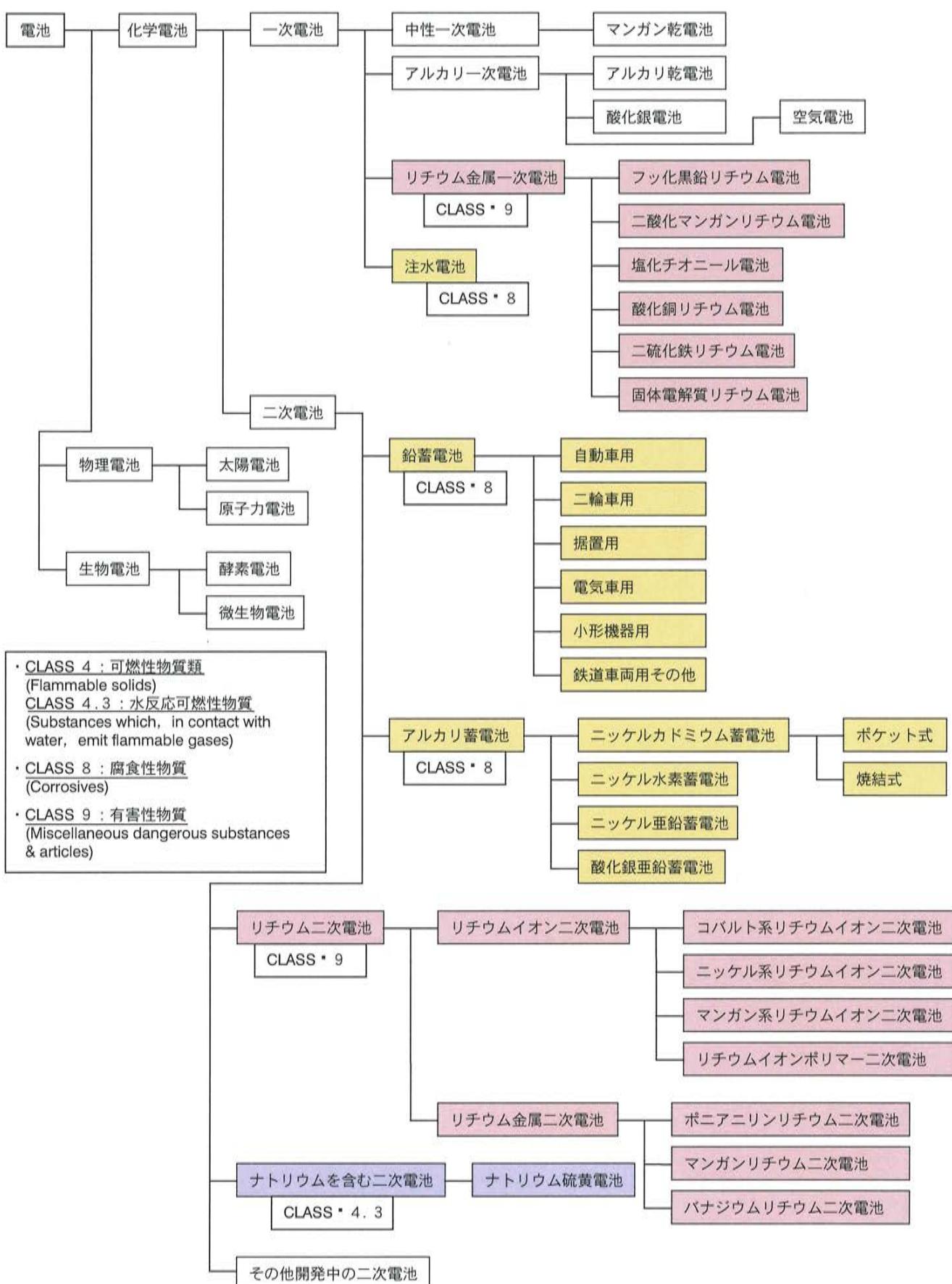


図 1 電池と危険物の関係

# 技術解説

## 電池の輸送安全について

係で、クラス 8（腐食性物質）に指定される。

2)国連番号・品名：以下のように分類され、除外規定により輸送条件が異なる。

a) 非防漏型：UN2795 Batteries wet filled with alkali

b) 防漏型：UN2800 Batteries wet non-spillable

3)除外規定：アルカリ蓄電池の場合も、鉛蓄電池の防漏型電池と同様で、容器試験は不要となり、55°Cで電解液がケースの亀裂、ひび割れ等から流出しないこと、かつ流出する可能性のある液体を含まないこと、包装の際、短絡を起こさないよう電極が保護されていることを条件に輸送規制から除外される。

### 5.1.3 補足

1)鉛蓄電池とアルカリ蓄電池は、電解液に使用している水溶液が腐食性を持つことから国連勧告では、クラス 8 の危険物に指定されるため、海上輸送などでは容器性能試験に合格した容器を使用するなど、この要求に合致した梱包形態で輸送することが必要となる。

2)しかしながら、このような形態での鉛蓄電池とアルカリ蓄電池の輸送は一般の商取引で行うにはコスト的に見合わないものになっているため、通常は余剰電解液を多く保有する液式電池（ベント形）においては腐食物質とされる電解液を入れない状態で、海上輸送を行っているのが実情である。

3)一方、密閉形蓄電池（制御弁式蓄電池又は陰極吸収式とも呼ばれる）は、密閉構造を維持する目的で蓄電池内でのガス再結合反応を容易にするため電解液量を極めて少量に制限し、流動化した余剰の電解液が存在しないように設計されている。したがって、蓄電池の容器が破損しても電解液が外部へ流出しない構造になっている。

4)このことから、この構造を有する蓄電池の輸送を容易にする目的で、(社)電池工業会 {当時は(社)日本蓄電池工業会} が提案者となり、1992年に UN2800 に指定される蓄電池について腐食性物質の輸送規制の適用除外の申請を、(社)日

本海事検定協会経由で行った。この申請は国連で認められて、密閉形蓄電池は腐食性物質の輸送規制から除外された。

5)このことから、電解液の防漏性を有する密閉形蓄電池は通常の貨物扱いで海上輸送などの国際間の輸送が可能になり、現在もこの方法による輸送が行われている。

この規制除外される電池は、具体的には密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池（ニカド電池）、密閉形ニッケル・水素蓄電池などのアルカリ蓄電池、M 形 /m 形及び MSE 形 /HSE 形などの制御弁式鉛蓄電池が該当する。

## 5.2 リチウム電池の場合

次に有害性物質を含むとされるリチウム電池について述べる。

### 5.2.1 リチウム金属一次電池の場合

1)クラス：クラス 9（有害性物質）に指定される。

2)国連番号・品名：

a)電池のみの輸送：UN3090 Lithium batteries

b)装置に組み込んで輸送：UN3091 Lithium batteries in equipment

c)装置と一緒に梱包して輸送：UN3091 Lithium batteries packed with equipment

3)除外規定：電池内のリチウム量に応じて分類され、国連の定める輸送安全試験の要否、包装などの輸送条件が定められる。現行法（1998年12月に決定）の分類を表 1 に示す。

表 1 試験要否と輸送条件に関するリチウム電池の分類（現行）

分類		試験の要、不要	輸送条件
	リチウム量		
A	セル 0.5g 以下 (液体正極)	不要	通常輸送
	1g 以下 (固体正極)		
	1g 以下 (液体正極)		
	2g 以下 (固体正極)		
B	セル 5g 以下	要	合格の場合 通常輸送
	パッテリー 25g 以下		
C	セル 12g 以下	要	合格の場合 Class 9 輸送
	パッテリー 500g 以下		
D	セル 12g 以上	要（大形用）	合格の場合 Class 9 輸送
	パッテリー 500g 以上		

なお、冒頭で述べたように、この規定の改定審議がなされ、2003年からはリチウムイオン二次電池などを包含し、表2を基準とするように変更が予定されている。

表2 試験要否と輸送条件に関するリチウム電池の分類  
(2003年以降)

分類		試験の要、不要	輸送条件	
	リチウム量			
小形	セル	1g 以下 (金属)	要	合格の場合 通常輸送
		1.5g 以下 (イオン)		
	バッテリー	2g 以下 (金属)	要	合格の場合 Class 9 輸送
		8g 以下 (イオン)		
	セル	12g 以下	要	合格の場合 Class 9 輸送
大形	バッテリー	500g 以下		
	セル	12g 以上	要 (大形用)	合格の場合 Class 9 輸送
	バッテリー	500g 以下	セルがテスト合格の場合は不要	

#### 4) 安全確認の試験

リチウム電池を輸送するために安全性を確認する試験は、以下のとおりで、この試験に合格をして初めてリチウム電池の輸送ができる。

表3に2003年からの輸送に適用される試験方法の概要を示す。

表3 リチウム電池の安全性試験

No.	試験項目	試験方法	要求事項
1	高度シミュレーション	気圧 11.6kPa 以下の環境に 6h 貯蔵	漏液、弁作動、破裂、破断、発火がないこと。 開路電圧が試験前の 90% 以上
2	温度	75°C × 6h と -40°C × 6h を 10 回繰り返す。 大形電池は 10h 試験温度に暴露	漏液、弁作動、破裂、破断、発火がないこと。 開路電圧が試験前の 90% 以上
3	振動	7 ~ 200 ~ 7Hz/15 分、8G 3 軸それぞれ 3h 加振	漏液、弁作動、破裂、破断、発火がないこと。 開路電圧が試験前の 90% 以上
4	衝撃	ピーク加速度 150G、印加時間 6m 秒 3 軸それぞれ正負方向各 3 回 大形電池は、50G 印加	漏液、弁作動、破裂、破断、発火がないこと。 開路電圧が試験前の 90% 以上
5	外部短絡	55°C 中、0.1 Ω 以下の外部抵抗で短絡 1h 以上短絡状態とし、その後 6h 監視	170°C を超えないこと 6h 以内に破裂、破断、発火ないこと
6	内部短絡	電池上に 15.8mm の丸棒を置き、ここに 9.1kg の重りを 61cm の高さから落下させる	170°C を超えないこと 6h 以内に破裂、発火ないこと
7	過充電 (バッテリー)	メーカーが推奨する最大連続充電電流の 2 倍の電流で、24h 充電	試験後 7day 以内に破裂、発火ないこと
8	強制放電 (セル)	メーカーが定めた最大放電電流で、定格容量を最大電流で割った時間だけ放電する	試験後 7day 以内に破裂、発火ないこと

#### 5.2.2 リチウムイオン二次電池

- 1) クラス : クラス 9 (有害性物質) に指定される。
- 2) 国連番号・品名 : 以下のとおりで、先に述べたリチウム一次電池と同じである。
  - a) 電池のみの輸送 : UN3090 Lithium batteries
  - b) 装置に組み込んで輸送 : UN3091 Lithium batteries in equipment
  - c) 装置と一緒に梱包して輸送 : UN3091 Lithium batteries packed with equipment
- 3) 除外規定 : 現行規制では、電池内のリチウム量が、セルで 1.5g 以下、バッテリー (組電池) で 8g 以下のものは輸送規制が除外される。  
なお、2003 年以降は、リチウム一次電池と同様に表2が適用される。

#### 5.2.3 リチウム金属二次電池

このものは、リチウム (金属) 一次電池と同じ扱いである。

#### 5.3 ナトリウムを含む二次電池

- 1) クラス : クラス 4.3 (水反応可燃性物質) に指定される。
- 2) 国連番号・品名 : UN3292 Batteries, containing sodium

#### 5.4 乾燥状態の固体水酸化カリウムを含む電池 (注水電池)

正極は空気極、負極は亜鉛を用い、使用時注水することで電池反応が起こる電池で以下に分類される。

- 1) クラス : クラス 8 (腐食性物質) に指定される。
- 2) 国連番号・品名 : UN3028 Batteries dry containing potassium hydroxide solid

#### 6. おわりに

電池の安全輸送の概要について述べた。実際に該当の電池・物品を輸送するにあたっては、弊社にご相談ください。

#### (参考文献)

- 1) リチウム電池及びリチウムイオン電池の輸送に関する手引書 (社)電池工業会 2002 年 1 月

# サイアム・フルカワ社（SFC）の今後の事業展開<sup>†</sup>

Business development of SIAM FURUKAWA CO., LTD.

徳山 勝敏 \*  
Katsutoshi Tokuyama

## 1. 古河電池(株) の子会社として新たにスタート

サイアム・フルカワ社（SFC）は、タイの自動車及び二輪電池製造・販売会社で1992年にサイアムメントグループ（SCC）と古河電池（FB）が夫々60%，40%出資設立し、FBの技術支援の下にSCCが主導的立場で経営に当たってきた会社で、その工場は1997年にバンコク市内よりサラブリ地区に移転竣工した最新鋭工場であります。

2002年2月に双方の合意が整い、FBが出資比率を71%に引き上げ（29%はSCC出資）子会社いたしました。これによりSFCはFBの自動車電池事業の国際展開と強化拡大の一翼を担って新たなスタートを切りました。

## 2. SFC の古河電池グループでの位置づけ

FBはSFCの子会社化により自動車・二輪電池事業に関して、一挙に低コスト・高品質生産能力の増強を実現することができました。今後SFCの強化によりアジア・中近東地区をはじめとして海外市場でのプレゼンスを更に高めるとともに、海外での生産販売活動の増強を図っておられる日本の自動車メーカー各社の拠点への電池の供給・サービスを拡大することによりFBと一緒にグループ全体の事業の相乗効果を挙げていくことになります。

当面次によりSFCの生産販売活動を強化してまいります。

① 自動車・二輪電池ともに生産能力と生産品種を拡大して品揃えを充実していきます。

② 自動車用については、①の実現のため液入り充満カルシウム電池の生産能力を大幅に増強中であります。タイの市場は即用電池が今までの大勢ですが、その補修市場に既にこの製品を「MF FB GOLD」のブランドで投入し好評を得ております。2002年年初よりタイ現地で有力日系自動車メーカーの新型車に唯一SFC製MF電池が採用され、更に続いて他のタイ現地有力日系自動車メーカーにもOE納入する運びとなっています。

③ 二輪電池については、FBグループ全体として、主力生産拠点として位置づけ、早期に生産体制を整備していきます。タイ国内での販売拡大や海外市場への輸出のみならず、日本国内への輸出販売へと大きくFBの生産販売体制の転換を図ります。

## 3. 新経営資源の投入

SFCは、10年来FBの技術支援により技術面でも高水準にあります。また品質管理面ではQS9000の認証を、環境管理面ではISO14000の認証を取得しております。子会社化と同時に、より管理レベルの向上と生産販売力の強化のため経営陣・製造部門・管理部門にもFBより人材を新たに投入し、陣容強化を図りました。

既にFBの技術・販売部門・国際部門と一体になって活動をしてきておりますが、今後は更に密度の濃い、レベルの高い活動によりFBともども努力してCS向上につなげるとともに期待される相乗効果を挙げたいと考えておりますのでよろしくご支援お願いいたします。

\* 自動車電池事業部長

† サイアム・フルカワ社（SFC）の事業活動に関しては、弊社「FBテクニカルニュース」No.56, 87-89(2000.11.1) を参照ください。

# 太陽光・風力発電システムの設置

## Solar and Wind Power System

近年、持続可能な循環型社会への転換とエネルギーの確保を両立させる再生可能エネルギーの必要性が叫ばれています。中でも太陽光発電ならびに風力発電は地球温暖化防止・省資源の一端を担うものとして今後の発展が期待されています。

政府は2010年迄に1999年度比で、太陽光発電は約23倍(482万kW)、風力発電は約38倍(300万kW)を導入目標としています。

エネルギー関連メーカーである弊社においても、人と環境に優しい、クリーンエネルギー利用のソーラーカーレース、電気自動車の省エネレースの支援を通じ、将来技術者の育成に努めてまいりました。

また、それと共に自然エネルギー利用システム、分散電源関連製品の開発も積極的に進めています。

テクニカルニュースにおいても、3000Ah鉛蓄電池付浄水場向け100kW太陽光発電システムや、120Ah鉛蓄電池を採用した独立型太陽光・風力ハイブリッド電源などの納入について紹介してきました。

この度、これらのシステム及び蓄電池の開発を更に効果的に行う為に、太陽光・風力ハイブリッド試験設備を導入しましたので紹介致します。この設備は太陽電池と風力で発電した電力を蓄電池に貯蔵し、DC負荷やAC100V負荷等に電力を供給することができます。表1に概略の仕様を記します。

表1 太陽光・風力ハイブリッド設備概略仕様

太陽電池モジュール	単結晶 1.2kW(今後増設予定)
風力発電機	450W
パワーコンディショナー	4kW(出力 AC100V)
パワーコントローラー	1式
制御弁式鉛蓄電池	2式

現在は、太陽光と風力発電電力を蓄電池に貯蔵し、夜間照明に使用しております。今後は、電力貯蔵システム・ピークカットシステム等の試験や長寿命鉛蓄電池のサイクル寿命評価等に使用する予定です。

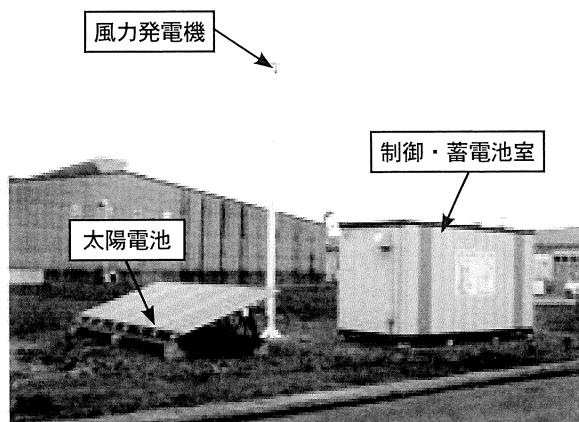


写真1 システム全景

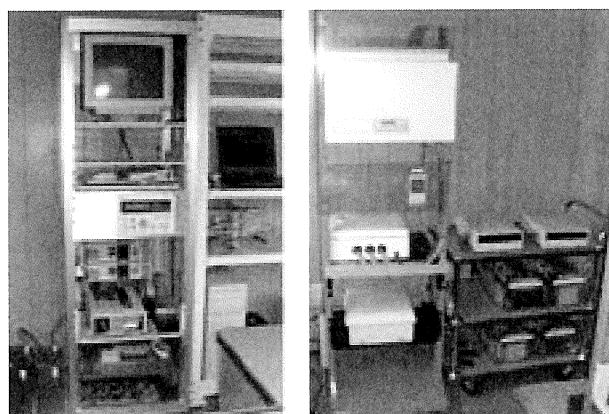


写真2 試験設備

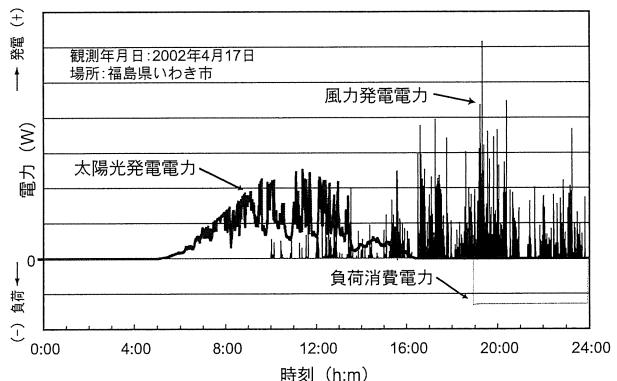


図1 運転状況の一例

(技術開発部 今市開発センター 篠本俊昭)

# 補修市場向け自動車用バッテリーのフルモデルチェンジ — GOLD シリーズに C-21 特殊合金を採用 —

Full Model Change of Automotive Batteries for Replacement Market  
— Applied C-21 Special Alloy to "Gold Series" —

この度、約4年ぶりに補修市場向け自動車用バッテリー各シリーズのフルモデルチェンジを行い、新発売いたしました。

弊社では、1992年に初代FZ-GOLD, FZ, FDシリーズを発売し、1998年6月に3代目のFZ-GOLD, FZ, FJシリーズとしてモデルチェンジを行い、専業店、電装店、修理工場、SS等などのルート向けとして、大変好評を博し、ユーザーに浸透してきました。

今回は、シリーズ名も新たに、補償内容を充実させたラインアップといたしました。

### 1. 新商品名

GOLD シリーズ	(5機種 10タイプ)
HIGH GRADE シリーズ	(26機種 41タイプ)
REGULAR シリーズ	(19機種 31タイプ)

### 2. 発売日

GOLD シリーズ	2002年10月21日
HIGH GRADE シリーズ	2002年6月17日
REGULAR シリーズ	2002年6月17日

### 3. 販路

専業店、電装店、修理工場、SS等

### 4. 全シリーズの主な特長（一部機種は除きます）

- 寿命特性に影響を与える「正極板」の製造方法にトラディショナルな「ブックモールド方式」を踏襲。  
ブックモールド方式は、活物質の密着性に優れ、極板の伸びに強く、抜群の寿命特性を有した製法です。

- 「インナーラグ」、「ストレートコネクション」を採用。

インナーラグ、ストレートコネクションの採用により、内部抵抗を極限まで低減させたため、始動性能が飛躍的に向上しました。

- 用途を外観で区別

乗用車用（カルシウムタイプ）は、補水がほとんど不要なためトップフラットふたを採用し、トラック・バス等の業務車用（ハイブリッドタイプ）は補水がし易いように6凸ふたを採用しました。

### 5. 各シリーズの特長

#### 5.1 GOLD シリーズ

(5機種 10タイプ 補償：36ヶ月 6万km) — 乗用車用途

##### （主な特長）

- 高い始動性能：インナーラグ仕様、厚型ラジアル格子の採用で集電能力を飛躍的に高め、セル間接続部をストレートコネクションとし、更に袋状低抵抗セパレーターを採用することで、内部抵抗の低減を実現し、高い始動性能を発揮します。
- 長寿命の実現：正極板に新開発の高耐食性C-21特殊合金<sup>†</sup>を採用し、更にブックモールド方式を併用したことにより、正極板の劣化を大幅にくい止め、長寿命を実現しました。
- メンテナンスフリー特性の向上：C-21特殊合金の採用で、自己放電や液減りが少なく、通常一般オーナー車では、寿命に至るまで補水の必要がありません。
- 全形式にインジケーター、取っ手、取付年月日シール、端子キャップを装備しています。

<sup>†</sup> C-21 特殊合金：21世紀を担うリサイクル性に優れ、環境に優しい新型カルシウム合金

## 5.2 HIGH GRADE シリーズ

(カルシウム 9 機種 18 タイプ 補償: 36 ヶ月 6 万 km) ——乗用車用途  
 (ハイブリッド 17 機種 23 タイプ 補償: 24 ヶ月 6 万 km) ——業務用車両用途 (トラック・バス等)  
 HIGH GRADE シリーズは、カルシウムタイプを FS, ハイブリッドタイプを FH と形式を区別してラインアップを図っており、ユーザーの使用用途に応じて開発した主力製品です。

### (主な特長)

- 高い始動性能: FS タイプはインナーラグ仕様、厚型ラジアル格子の採用と、セル間接続部をストレートコネクションすることで、高い始動性能を発揮します。

・長寿命の実現: FS タイプは新方式カルシウム合金の採用で弊社従来標準品との比較で約 1.6 倍 (JIS 軽負荷寿命), FH タイプはハイブリッドエレメントの採用で、弊社標準カルシウム品比較で約 2 倍 (JIS 重負荷寿命) の寿命アップを実現しました。

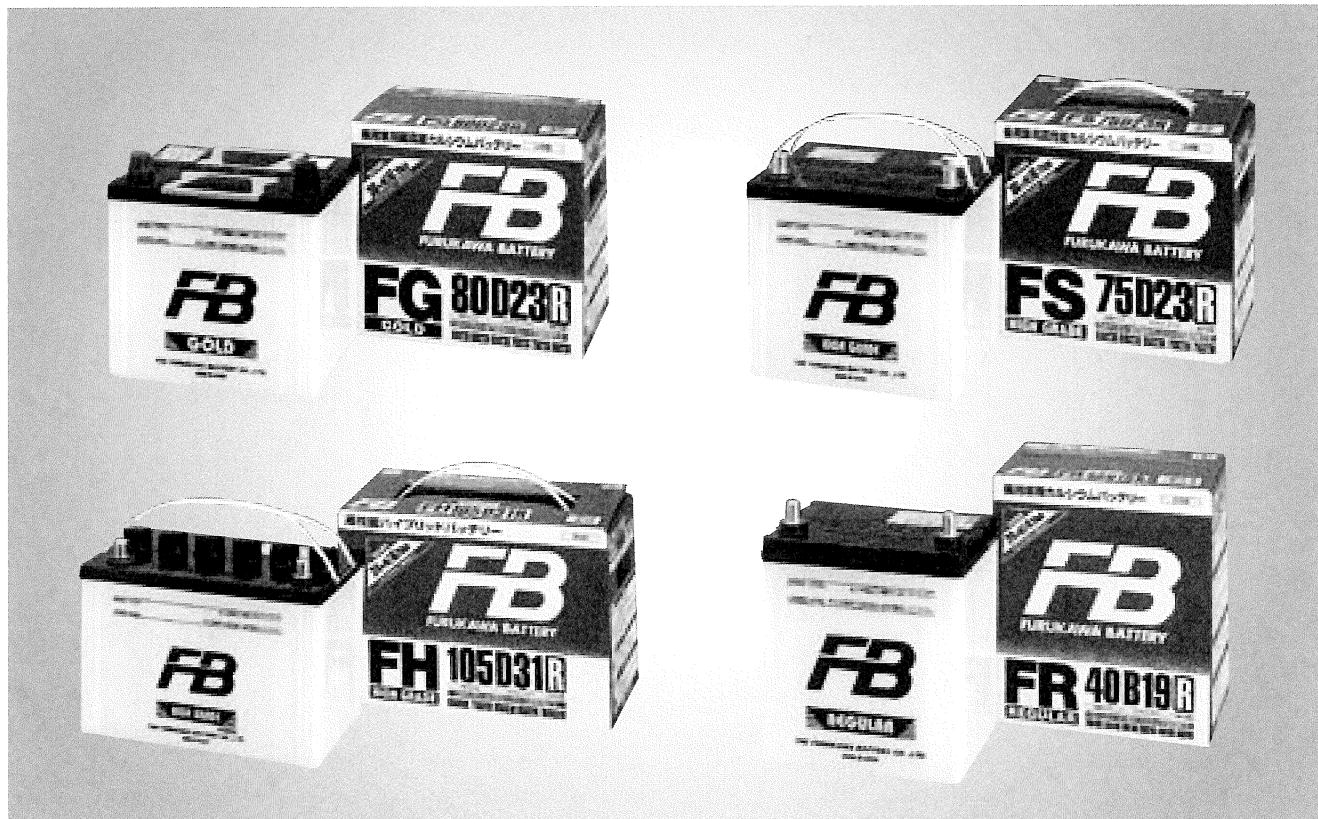
## 5.3 REGULAR シリーズ

(カルシウム 8 機種 16 タイプ 補償: 24 ヶ月 4 万 km) ——乗用車用途

(ハイブリッド 11 機種 15 タイプ 補償: 18 ヶ月 3 万 km) ——業務用車両用途 (トラック・バス等)

### (主な特長)

- シンプルな装備で基本性能を重視したスタンダードバッテリーです。



(自動車電池事業部 技術部 緒方有二)

## FVH-50-12 形蓄電池搭載 UPS を納入

Delivery of a Newly Developed UPS Equipped with FVH-50-12 Batteries

弊社では、UPS 用として高率放電特性に優れた FVH 形を開発・上市し各方面よりご好評を戴いておりますが、このたび新たに 50Ah 品を追加拡充しました。

この FVH-50-12 形蓄電池を搭載した UPS を電源の信頼性を要求される医療施設へ納入致しましたので、概要を紹介します。

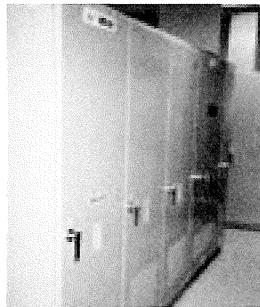


写真1 100kVA UPS 外観



写真2 FVH50-12 蓄電池

UPS の仕様概要を表 1, 2 に示します。

蓄電池には、新形の FVH-50-12 × 30 直列 × 3 並列 × 3 式を採用しました。

UPS が設置される部屋は、既存の部屋を改修したため、限られた床面積への設置が求められ、標準品より優れた高率放電特性を有する蓄電池が必要となりました。従来 FVH 形は 200Ah と 300Ah の 2 機種でしたが、これを機会に 50Ah を追加開発し、今回の納入に至ったものです。

今回の納入システムは、100kVA × 3 台の並列冗長システムで、無瞬断直送切替回路、保守バイパス回路を付加した、高信頼性システムとなっております。

また、受電系統も本線受電と予備受電の二重化とし、さらに非常用発電機も主と予備の二重化、負荷側も本線出力と予備出力の二重化設計となっており、より一層の高信頼性が実現されております。

表 1 概要

交流入力	三相 3 線 200V (本線・予備線)
交流出力	100kVA × 3 台並列冗長システム
蓄電池	FVH50-12 × 30 直列 × 3 並列
バックアップ時間	10 分間
定格負荷	200kVA (180kW)

表 2 主要機器

入力盤	1 台
保守バイパス盤	1 台
出力切換盤	1 台
CVCF 盤	100kVA × 3 台
蓄電池盤	FVH50-12 × 30 直列 × 3 並列 × 3 式
ダクト盤	3 台
出力盤	2 台

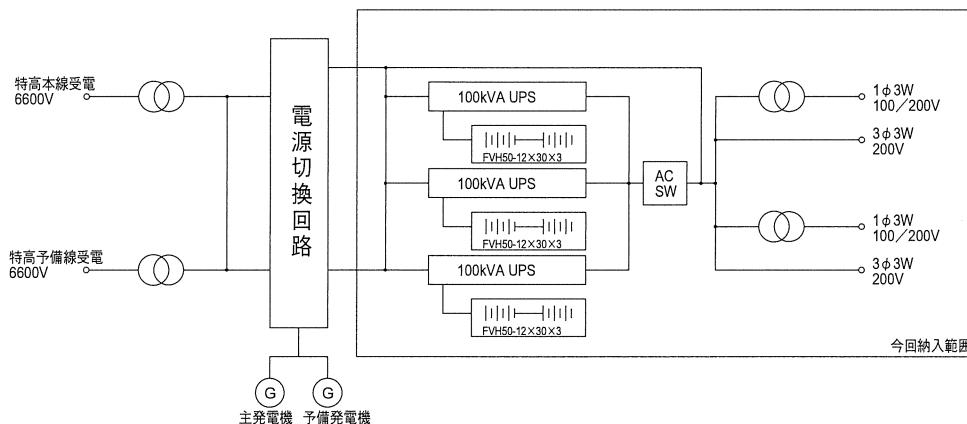


図1 100kVA × 3 UPS システム

(産業機器営業本部 産機第三営業部 向保則)

## 東急 5000 系車に MT 形電池を納入

Delivery of MT Batteries to the 5000-Series Railway Car of Tokyu

このたび、東急車輛製造（株）殿が製作し、東急電鉄（株）殿に納入された 5000 系車両に弊社の MT 形蓄電池を採用いただきました。

搭載された蓄電池は、6M60T-12 + 6M30T-3 形で、100V 系には定格容量・公称電圧が 60Ah・86.4V が、24V 系には 30Ah・21.6V が用いられ、2 つの蓄電池は同一の格納箱に収納されています。

5000 系車は、田園都市線に導入され、以下に示すように「人と環境にやさしい車両」を設計コンセプトとして製作された車両で、今後の東急電鉄殿の標準車両として増備されてゆく計画とのことです。

- ・ 環境に配慮：軽量化や低騒音機器の採用で、騒音を低減し、消費電力も削減。
- ・ バリアフリー設計：ホームと車両の段差の縮小、吊り手や荷棚の使い勝手の工夫、便利な案内用液晶ディスプレーの設置など。
- ・ アメニティとサービスの向上：熱線吸収・紫外線カットガラスを採用し、高効率空調機器で快適さを確保。対話式通報装置の設置や車椅子スペースも設置。
- ・ 「多摩田園都市」のイメージのデザイン化：スマートさと高級感を演出。

MT 形蓄電池は、弊社の長年にわたる鉄道車両用の経験を基に 1998 年に製品化したローメンテナンスタイプのアルカリ蓄電池で、長期の補水インターバルの確保、絶縁や防塵に配慮した設計で、取扱いの容易化を実現し、車両を整備・保守される方々をサポートしています。

弊社は、これからも車両のニーズに最適化した蓄電池で、鉄道輸送に貢献していきます。



写真 1 東急電鉄（株）殿 5000 系車外観



写真 2 5000 系車搭載蓄電池外観

(産業機器営業本部 産機第一営業部 久野昌隆)

## FVH シリーズに FVH-50-12 形を追加

Addition of FVH-50-12 Type to the FVH Series

FVH シリーズは、その優れた高率放電特性により、蓄電池の小形・軽量化が図れることから、広くご愛用戴いております。

しかし、現行シリーズでは、比較的大容量の UPS 対応として、200Ah, 300Ah の 2 機種のみであり、75kVA ~ 150kVA クラスでは、十分な効果を引き出すことが出来ませんでした。

そこで、この容量領域に対応すべく、今回 50Ah を追加発売することに致しました。

FVH-50-12 形蓄電池は、12V モノブロック電池で、形状・寸法は MSE-50-12 と同等です。

また、FVH-50-12 形の追加に合わせ、蓄電池設備認定委員会の認定を取得いたしましたので、消防法、建築基準法適用負荷にも、ご使用戴けます。

消防法認定番号 ; □ C255 □ は認定年度を示す

消防法認定形式 ; MSE-R



写真 1 FVH-50-12 形蓄電池の外観

表 1 単電池要項表

形 式	公称電圧 (V)	容量 (Ah)			外形寸法 (mm)				質量約 (kg)
		10 分間率	1 時間率	10 時間率	総高さ	箱高さ	長さ	幅	
FVH-50-12	12	28.3	42.5	50	220	190	363	128	25
FVH-200	2	113	170	200	347.5	322.5	106	170	18
FVH-300	2	170	255	300	347.5	322.5	150	170	25

表 2 単電池の特長

項目 \ 形式	FVH 形			MSE 形			
	FVH-50-12	FVH-200	FVH-300	MSE-50-12	MSE-200	MSE-300	
5 分間放電可能電流 (A)	190	760	1140	113.8	455	682	
10 分間放電可能電流 (A)	170	680	1020	94.3	377	566	
3.4C <sub>10</sub> A での放電可能時間 (分)	10			1 以下			
端子	鉛合金 (L 形)	黄銅ナットインサート		鉛合金 (L 形)			
接続方法	ボルトナットによる横締め	ボルトによる上締め		ボルトナットによる横締め			
浮動充電電圧 (V/セル)	2.23						

表 3 組電池寸法の一例 (180 セル組の場合)

UPS 容量 (kVA)	対応蓄電池		キューピクル寸法 (mm)						床面積比較 (%)	
	FVH 形	MSE 形	FVH 形			MSE 形				
			幅	奥行き	高さ	幅	奥行き	高さ		
75	50 × 2P	150	2000	750	1950	2000	1000	1950	75	
100	50 × 2P	200	2000	750	1950	2000	1000	1950	75	
150	50 × 3P	300	3000	750	1950	2800	1000	1950	80	
200	200	200 × 2P	2000	1000	1950	4500	1000	1950	44	
250	300	500	2800	1000	1950	4800	1000	1950	58	
300	300	300 × 2P	2800	1000	1950	6600	1000	1950	42	
400	200 × 2P	300+500	4000	1000	1950	8400	1000	1950	48	
500	300+200	300 × 3P	5000	1000	1950	9900	1000	1950	51	
600	200 × 2P+300	1500	7000	1000	1950	12000	1200	1950	58	
750	300 × 3P	1500	7600	1000	1950	12000	1200	1950	63	
1000	300 × 4P	1000 × 2P	10800	1000	1950	14300	1200	1950	63	

1. キューピクル寸法は BAJ 新耐震基準 (SBA S 0903) に基づいています。

\* BAJ は(社)電池工業会の略称です。

2. 停電補償時間は、10 分 (25°C) の場合を示します。

(産業機器営業本部 営業推進部 内田榮市)

## 高効率スイッチングユニット

A High-Efficiency Switching Unit

近年、情報・通信機器、携帯機器、電子機器、家電機器等に使用されているスイッチング電源には、高効率化、小型化、軽量化、低ノイズ化、低価格化などが要求される。特に高効率化は環境問題への関心が高まる中、産業界全体が今すぐ取り組まなければいけない大きな課題となっております。新製品“高

効率スイッチングユニット”は、従来の高効率回路にソフトスイッチング技術（DC／DCコンバータにはフルブリッジコンバータ）を採用した市場のニーズに応えた製品です。これにより大幅な電力削減を図った省エネとコンパクト化が実現できます。

### <回路構成>

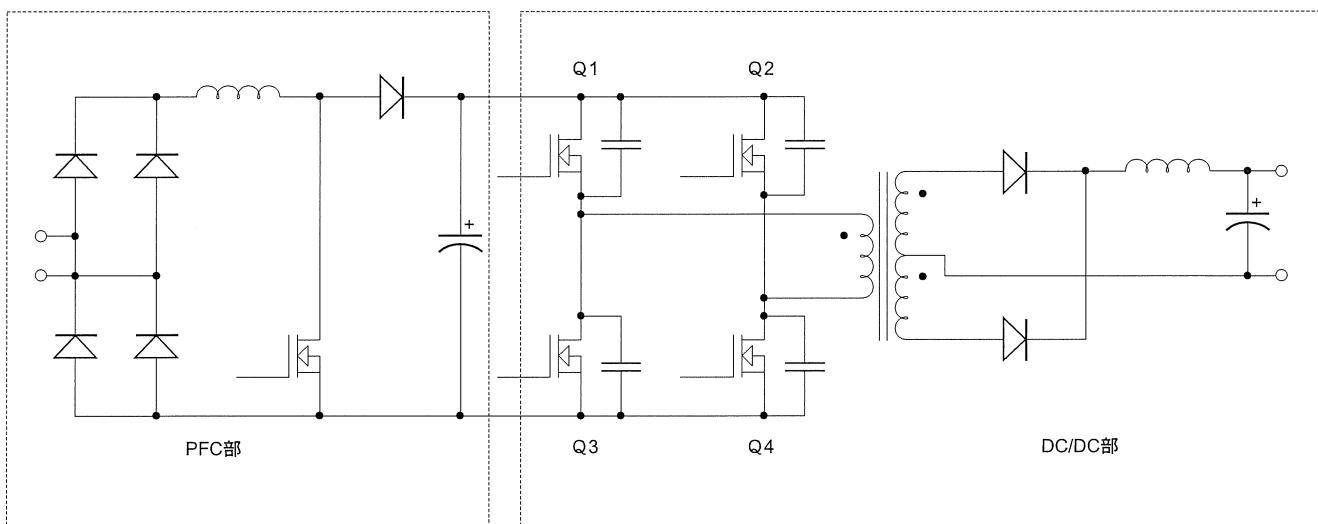


図1 ユニット構成

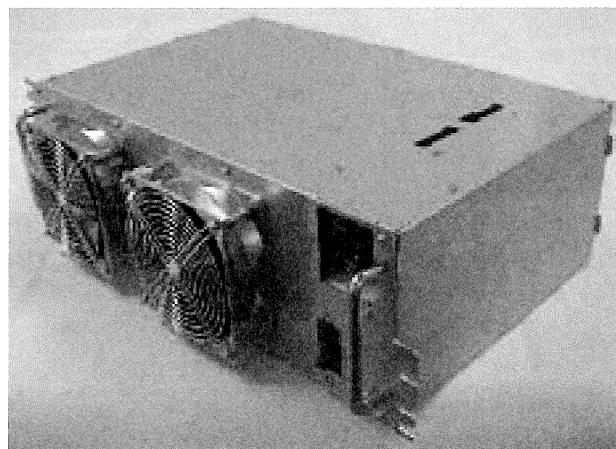


写真1 HA401031 製品写真

## &lt;スイッチングユニット従来品との比較&gt;

表 1 スイッチングユニット諸元

ユニット型式	DP5B048 / 100 (従来品 平成 12 年提案)	DP7B048 / 100 (新製品)
<b>● AC 入力</b>		
定格電圧 (V)	200 / 210	同左
相数・線数	3 層・3 線	
電圧変動範囲 (V)	180 ~ 231	
周波数 (Hz)	47 ~ 63	
入力力率	0. 99 以上	
<b>● DC 出力</b>		
定格電圧 (V)	- 53.5	同左
電圧調整範囲 (V)	- 50 ~ 56	- 48 ~ 59
定電圧精度 (%)	± 1.0% 以内	同左
定格電流 (A)	100	同左
垂下電流 (A)	110	105
電流設定範囲 (A)	40 ~ 105	同左
リップル (mVp-p)	200 以下	
評価雑音 (mV)	1mV 以下	
効率 (%)	88	93 以上
高周波雑音	VCCI class A	同左
<b>● その他</b>		
インターフェース	RS485	同左
冷却	強制風冷	
周囲温度 (°C)	0 ~ 45	
湿度 (%)	30 ~ 90	
寸法 (WxDxHmm)	440x400x150	440x280x150
質量 (kg)	25	17

## &lt;特長&gt;

## ■ 高効率 (93%)

低ランニングコスト、省エネルギー

1 台当り 350W の無駄な消費電力が削減できる。

■ 高力率 ( $\approx 1.0$ )

入力受電容量の低減

無効電力を殆ど無くし入力力率  $\approx 1$  で設備費の低減が可能

## ■ 低ノイズ

評価雑音 1mV 以下、VCCI class A

## ■ 小型／軽量

省スペース化

資源の削減と運搬／組み込み作業の改善

## ■ 電流分担機能付

信頼性向上

## ★ 効果比較

## 1) 効率

88%  $\Rightarrow$  93% 以上従来品に対し 5.7% UP

## 2) 外形寸法

従来品に対し 70% に小型化

## 3) 質量

従来品に対し 70% に軽量化

## 4) 装置に組み込んだ場合の盤寸法

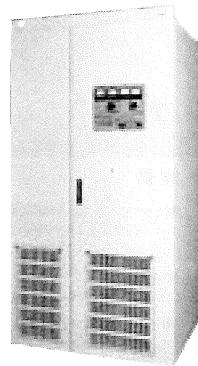
現状盤寸法 600(W) × 600(D) × 1700 ~ 1900(H)  
の奥行き 600mm が 400mm に小型化可能

(電源システム事業部 技術部 畠山寿雄)

# 高効率形 UPS “フルパワー AL シリーズ”

High-Efficiency UPS “Furupower AL-Series”

UPS (Uninterruptible Power System : 無停電電源装置) とは、蓄電池などに蓄えられた電気エネルギーを使って、負荷機器へ途切れることなく交流電力を送り続けることを目的とした電源装置の総称です。情報化社会の今日、UPS は様々なところで使われており、低価格化、高効率化、小形・軽量化、高機能化、信頼性・保守性の向上などの市場のニーズに応えて進歩しています。“フルパワー AL シリーズ”は高効率化と小形・軽量化を低価格で実現した、双向コンバータ式常時商用給電形の新しい UPS です。



## ＜製品系列＞

形式	出力電圧	容量 (kVA)
ALT	3 φ 200V	30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500
	3 φ 400V	300, 400, 500
ALS	1 φ 100V	30, 50, 75

## ＜特長＞

◆ALT シリーズの運転効率は全製品とも 97%以上で、従来形に比べてランニングコストを大幅に低減できます。低減効果の試算例を表 1 に示します。

表 1 ランニングコストの低減例

容量	年間の電気料金比 <sup>注1</sup>		低減率
	従来形	ALT シリーズ	
50kVA	100 [87%]	21 [97%]	79%
100kVA	100 [88%]	23 [97%]	77%
300kVA	100 [89%]	25 [97%]	75%

注 1 : [ ] は運転効率 (%)。

◆1 台の双向コンバータで UPS を実現して小形・軽量化を図りました。軽量化の例を表 2 に示します。

表 2 軽量化の例

容量	質量 (入出力盤を含む)		軽減率
	従来形	ALT シリーズ	
50kVA	900kg	500kg	44%
100kVA	1,400kg	950kg	32%
300kVA	3,300kg	2,000kg	39%

(産業機器営業本部 営業推進部 加藤幹男)

## 農業機械・建設機械対応乗用車用電池 FX シリーズ

FX-Series Car Batteries Applicable to Agricultural and Construction Machines

従来、農業機械や建設機械には、自動車用鉛蓄電池を搭載していましたが、これは主に乗用車向に設計しており、振動が激しい農業機械や建設機械では活物質脱落などの原因により短寿命となるケースがみられました。また、泥やほこりの多い場所で使用する農業機械では、液口栓に泥やほこりがつまり安全性にも問題がみられました。そこで、弊社は幅広いニーズに応えるために耐震・安全設計を施した電池を発売いたしましたので紹介いたします。今回の FX シリーズは集配車用電池の TTX シリーズ、タクシー用電池の TCH シリーズに続く専用設計の電池ということになり、上記のような短寿命原因を払拭し、農業機械、建設機械ユーザーの開拓に期待をしています。

### (特長)

#### ○メンテナンス性能アップ

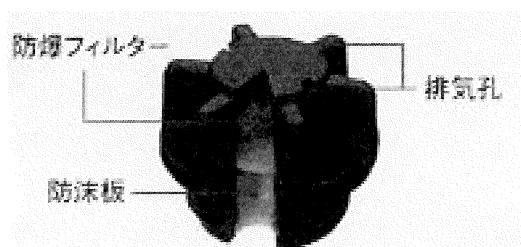
カルシウム合金極板の採用で、自己放電特性、減液特性が向上。

#### ○耐震性アップ

活物質の脱落を防ぐ耐震設計で、EN 規格 60095-1 レベル 3 の耐震性最高基準 ( $60\text{m/s}^2$  を 20 時間) クリアー。

#### ○安全設計

横穴式の防爆栓を全サイズに採用し、泥やほこりの目詰まりを防止。



### ○使用用途に応じた補償を設定

- ・最長補償の 36 ヶ月または 6 万 km を設定（乗用車に搭載の場合でいずれか早い時まで）
- ・12 ヶ月補償（農業・建設機械に搭載の場合）

### ○充実したアクセサリー

- ・持ち運びに便利な取っ手を装備（A サイズを除く）
- ・充電状態が一目で分かるインジケーターを装備（A サイズを除く）



(商品構成…6 機種 12 タイプ)

形式	電圧 (V)	5 時間率 容量(Ah)	外形寸法 (mm)				液入質量 (約 kg)
			総高	箱高	幅	長さ	
30A19R/L	12	22	175	160	125	185	7.6
40B19R/L	12	30	227	200	125	185	9.3
55B24R/L	12	36	227	200	126	236	11.7
75D23R/L	12	52	225	200	169	230	15.9
85D26R/L	12	55	225	200	170	257	18.7
105D31R/L	12	64	225	200	171	304	23.1

(自動車電池営業本部 市販営業部 赤星貢)

## 長寿命形制御弁式据置鉛蓄電池（FVL シリーズ）

Valve-Regulated Stationary Lead Acid Battery of Long-Life Type

コンピュータシステムを核とした高度情報化社会では、24時間、365日電源が途絶えることは許されません。

弊社では、この要求に対応すべく、信頼性に優れた各種蓄電池を供給し、ご好評を戴いております。

FVL シリーズは、長寿命化のニーズに基づいて設計・開発された制御弁式鉛蓄電池です。

ご好評を戴いている MSE シリーズの長寿命タイプで、期待寿命 15 年の画期的な蓄電池です。設備自体が長寿命である発・変電所や工場プラント用として最適です。

### 特長

#### ○長寿命

格子合金、活物質の改良により MSE シリーズの 7 ~ 9 年を大幅に上回る 15 年の期待寿命 (25 °C, 0.1C (A) 放電) を実現しました。

#### ○経済的

長寿命化により、ランニングコストを大幅に低減することが可能になりました。

#### ○従来品との互換性

MSE シリーズと同一サイズなので、架台やキューピカルを改造することなく、置き換えが可能です。

#### ○CS 形鉛蓄電池より高性能・コンパクト

MSE シリーズの特性を活かしたまま長寿命を実現したため、CS 形鉛蓄電池より高性能で、収納性にも優れています。

#### ○優れた保守性

充電中に発生する酸素ガスを負極板に吸収させるシール方式を採用していますので、電解液に関する保守が不要です。

#### ○消防法認定商品

蓄電池設備認定委員会の認定を受けていますので、消防法の負荷にも問題なく使用できます。

消防法認定形式記号: MSE - K

消防法認定番号 : □ C250 (注: □ は認定年度)

表 1 単電池の要項

形 式	容量 (Ah)	外形寸法 (mm)			質量 (kg)	
		10 時間率	1 時間率	H (最大)		
FVL-50-12	MSE-50-12K	50	32.5	220	128	363
FVL-100-6	MSE-100-6K	100	65	220	128	345
FVL-150	MSE-150K	150	97.5	365	170	106
FVL-200	MSE-200K	200	130	365	170	106
FVL-300	MSE-300K	300	195	365	170	150
FVL-500	MSE-500K	500	325	365	171	241
FVL-1000	MSE-1000K	1000	650	365	171	471
FVL-1500	MSE-1500K	1500	975	375	337	476
FVL-2000	MSE-2000K	2000	1300	375	337	476
FVL-3000	MSE-3000K	3000	1950	375	340	696
						216



写真 1 FVL シリーズの外観

(産業機器営業本部 営業推進部)

## 鉄道車両用バッテリー (MT シリーズ)

### MT-Series Train Battery

鉄道車両用のバッテリーには、電源や負荷変動、環境温度の変化、振動や衝撃の印加など厳しい使用条件での信頼性や耐久性が求められ、さらに近年は点検整備の省力化が強く求められています。MT シリーズは保守低減的を絞って開発した鉄道車両用アルカリバッテリーです。

#### 主な特長

##### 1)長時間補水不要

極板や電池構造の設計適正化により、減液性能を向上させ、数年間～十数年間にわたり補水を不要としました。

##### 2)点検・整備が容易

モノブロック構造、新カバー構造などにより、金属露出部をなくし、埃などの進入を防止したため、点検作業時の安全確保、清掃の容易化を実現しました。

##### 3)長寿命

期待寿命 15 年

##### 4)高性能

焼結式極板を使用し、短時間放電、低温使用に優れた性能を発揮します。

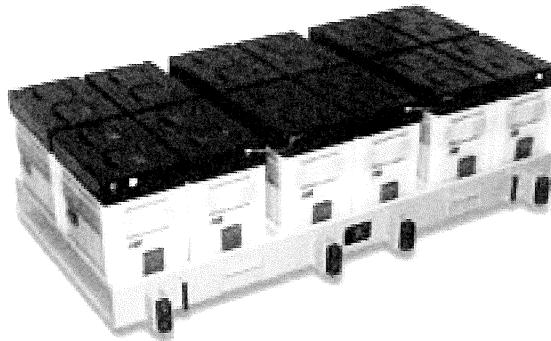


写真 1 MT 形バッテリーの外観

(産業電池事業部)

表 1 MT 形バッテリー要項表

MT シリーズ 形式	公称 電圧 (V)	定格 容量 (Ah)	外形寸法			質量 (約 kg)
			幅 (mm)	長さ (mm)	高さ (mm)	
6M20T	7.2	20	170	255	306	16
6M30T	7.2	30	170	255	306	17
6M40T	7.2	40	170	255	306	18
6M50T	7.2	50	170	255	306	19
6M60T	7.2	60	170	255	306	20
6M70T	7.2	60	170	255	306	21
6M80T	7.2	60	170	255	306	22
6M90T	7.2	80	170	255	306	23
6M100T	7.2	100	170	255	306	24

注) 100V 系は、各形式 12 ヶで構成します





<http://www.furukawadench.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.045-331-1221
東京事務所	〒153-0043	東京都目黒区東山1-1-2 (東山ビル)	TEL.03-3793-3291
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	〒980-0821	仙台市青葉区春日町7-19 (仙台エフビービル)	TEL.022-224-1231
北陸支店	〒920-0968	金沢市幸町8-5 (金沢エフビービル)	TEL.076-233-1475
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	〒730-0812	広島市中区加古町1-6 (広島エフビービル)	TEL.082-240-8001
四国支店	〒760-0017	高松市番町5-9-11 (高松エフビービル)	TEL.087-833-5771
九州支店	〒810-0011	福岡市中央区高砂2-10-4 (福岡エフビービル)	TEL.092-521-6151

## 事業所・工場

今市事業所	〒321-2336	栃木県今市市荊沢字上原597	TEL.0288-22-3111
いわき事業所	〒972-8501	福島県いわき市常磐下船尾町杭出作23-6	TEL.0246-43-0080
開発センター	〒972-8501	福島県いわき市常磐下船尾町杭出作23-6	TEL.0246-44-6881
エフビー工場	〒321-2331	栃木県今市市針貝字茅場1066-22	TEL.0288-26-8061



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