

テスター機能内蔵自動車用電池「FGUARD™」の開発

Development of FGUARD™: an Automotive Battery with Tester Function

竹島 修平^{*1}
Shuuhei Takeshima

白川 亮偕^{*1}
Ryoutomo Shirakawa

田口 仁^{*2}
Hitoshi Taguchi

瀬尾 秋男^{*3}
Akio Seo

大内 久士^{*3}
Hisashi Oouchi

水野 隆司^{*3}
Takashi Mizuno

後藤 武廣^{*3}
Takehiro Gotou

矢吹 修一^{*3}
Syuuichi Yabuki

Abstract

Diagnosis of automotive batteries has so far been performed manually by using either load testers or conductance/impedance testers.

With the deployment of a miniaturized conductance tester called onGUARD™ by Midtronics Inc., USA and its compact and reliable assembling into battery lid, the smart battery "FGUARD™" was developed. The battery condition, such as SOC/SOH can be checked easily and safely in a short time which enables to avoid sudden battery troubles on the road because the accurate battery condition is known beforehand. Various bench scale and fleet tests were carried out for 2 years and its high reliability was proved in the field. Also FGUARD uses new high corrosion resistant grid alloy which assures longer battery life and together with the built in tester, the battery can be utilized up to more reasonable life with high reliability and safety contributing for the maximized economy through its appropriate exchange in the field.

1. はじめに

近年、自動車用電池の負荷が増大する傾向にあり、容量不足、劣化に気づかず電池トラブルになる場合が多くある。JAF 殿の一般道路におけるロードサービスの出動件数でも「過放電バッテリー」が第一位になっている¹⁾。電池の充電状態 (SOC: State Of Charge) と劣化状態 (SOH: State Of Health) を知ることにより、未然に電池トラブルを防ぐことができる。自動車用電池の SOC は開路電圧や電解液比重の測定で知ることができ、比重球を内蔵したインジケータが多く使用されている。SOH を診断する方法としては、実際に放電し電圧の下がり具合で判断するロードテスターが多く使用されてきた。一方、海外では、米国の MIDTRONICS 社のコンダクタンス法テスターが普及している。

ロードテスターの欠点は SOC が低い時には判定できないことである。また、数十～150A の電流で放電するために、一般にガソリンスタンド、電装店、

カーディーラ、修理工場等に行く必要がある。

本開発電池 FGUARD™ (エフガード) は MIDTRONICS 社が開発した電池搭載用テスター回路 (オンガード: onGUARD™) を蓋に内蔵し、ユーザがボタンを押すことで容易に SOC と SOH がわかるテスター機能を備えている。この機能により、ユーザは電池の充電状態を知り、かつ劣化状態がわかるので交換時期を容易に知ることができる。本稿はテスター回路を搭載したエフガードの開発について概要を述べる。

2. 開発内容

2.1 コンダクタンス測定

コンダクタンスの測定原理は以下のとおりである。4端子法で微小の交流電圧 (V_{AC}) を電池端子に印加し、得られる交流電流 (I_{AC}) を測定し、 $G = I_{AC} / V_{AC}$ からコンダクタンス (G) を求めている²⁾。図1に測定時に流れる電流波形を示す。周波数 100Hz で、約 1A の矩形波が流れている。テスターで示される値は CCA コンダクタンスが用いられ、極板状態に対応した情報が得られる。CCA コ

*1 技術開発部

*2 自動車電池営業本部 市販営業部

*3 自動車電池事業部 技術部

報文

テスター機能内蔵自動車用電池「FGUARD™」の開発

コンダクタンスはコンダクタンス（ジーメンズ：S）を CCA（Cold Cranking Ampere）に変換した値で、電池の始動性能がわかり易くなっている。コンダクタンスをより正確に測定するために、温度補正が行われる。

コンダクタンス測定は放電状態でも測定が可能であることと大電流で放電しないので安全であることの特徴を持っている。

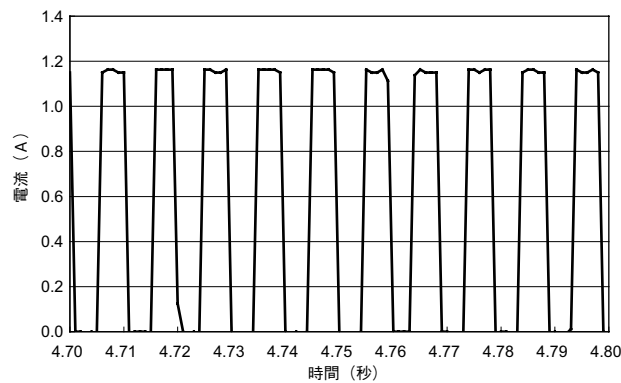


図1 コンダクタンス測定の電流波形
Fig.1 Current wave of conductance measurement

2.2 エフガード開発品 (B24)

2.2.1 開発機の仕様と構造

電池の蓋に内蔵可能な厚みとしたテスター回路と端子を接続するブッシングと蓋の開発を行った。B24 サイズ電池用に開発したテスター回路の仕様を表1に、ブロックダイアグラムを図2に示す。4端子法接続部、測定を行う押しボタンスイッチ、電圧測定回路、コンダクタンス測定回路、温度測定回路、測定値の取り込み・アルゴリズムの適用・電池状態の判定を行うマイクロプロセッサ、判定結果を表示するLED4個（SOC1個、SOH3個）で構成されている。

図3にテスター回路（開発機）外観を示す。PCB（Print Circuit Board）は透明樹脂ケースにエポキシ樹脂で封止されている。上部にはLEDを確認するための押しボタンが設けられ、中央部は電池固定ステーの下になるので、ステーにより隠れない位置にSOC判定表示用のLED1個とSOH判定用LED3個を配置した。押しボタンには熱可塑性エラストマで作られたボタンカバーが設けられ、外部から水や電

解液が入らないようにしてある。

表1 テスター回路（onGUARD）の仕様
Table.1 Specification of onGUARD

寸法 (mm)	20W × 120L × 11H
質量 (g)	約 35.5
動作電圧範囲 (V)	7 ~ 20
使用温度範囲 (°C)	-40 ~ 85
SOC (充電状態)	2段階 ・ LED 無点灯 正常 ・ 黄色 LED 要充電
SOH (劣化状態)	3段階 ・ 緑色 LED 良好 ・ 黄色 LED 要注意 ・ 赤色 LED 要交換

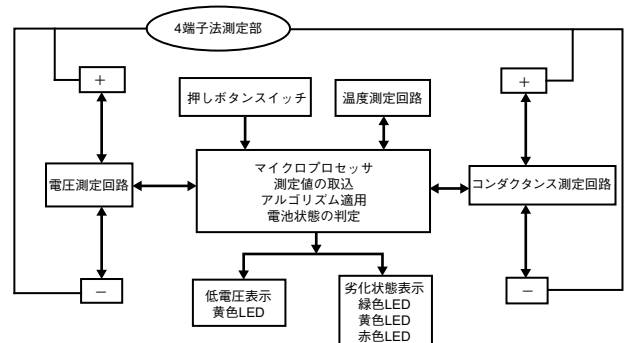


図2 テスター回路（onGUARD）のブロックダイアグラム
Fig.2 Block diagram of onGUARD

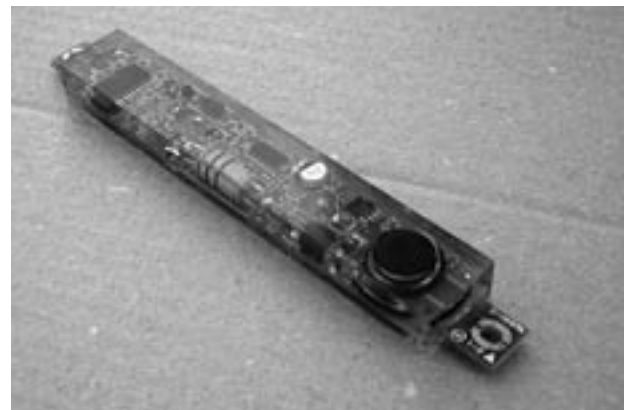


図3 テスター回路（onGUARD）開発機の外観
Fig.3 External view of onGUARD for development

接続方法は図4に示すように、ブッシングアーム部に設けた突起（ピン）に、テスター回路（図3参照）のPCBの両端に設けられ周囲にSnメッキが施された孔を嵌め込み、ハンダ溶接する方法を採用した。テスター回路は蓋の凹み部に搭載後、エポキシ

樹脂で接着封止される。図5にオンガードを組み込んだエフガード試作品 (B24) の外観を示す。

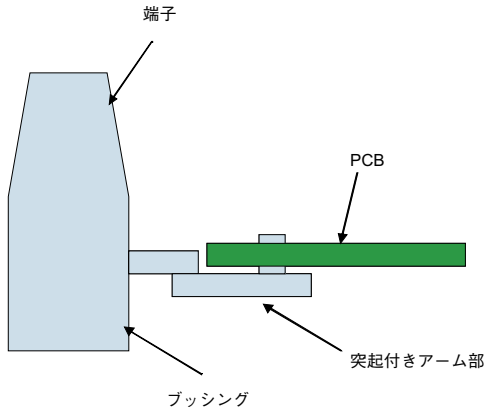


図4 テスター回路 (onGUARD) の4端子法接続構造
Fig.4 Kelvin-style connection for onGUARD



図5 エフガード (B24) 試作品外観
Fig.5 External view of FGUARD (B24) for development

2.4.2 判定表示

SOC及びSOHの判定は端子電圧と温度補正されたCCAコンダクタンスを組み合わせたアルゴリズムで決められる。図6に判定で表示されるSOC及びSOHのLED点灯の組み合わせを示す。开路電圧が低い場合はSOCのLED(黄色)が点灯する。市場から回収したB24電池を用いて性能とCCAコンダクタンスの関係を調査し、「要交換」などの判定値を決めた。判定値の設定はBCI「バッテリーマニュアル」で交換目安としている常温の1/2CCAを基準とした³⁾。「要交換」レベルは電池温度とSOCに

より始動性能が変化するので、赤色LEDが点灯しても直ぐ始動不良にならないように設定した。

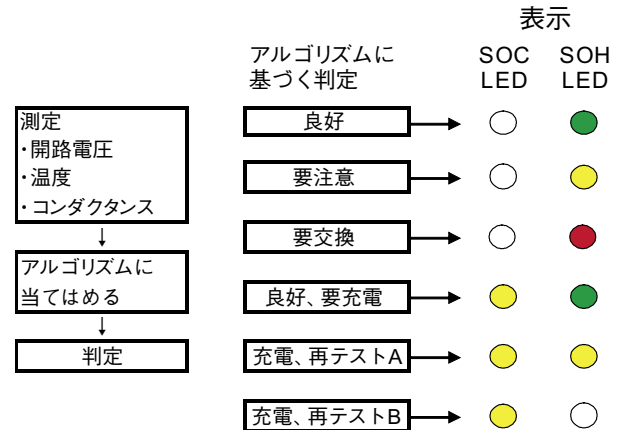


図6 テスター回路 (onGUARD) のLED表示
Fig.6 Indication of onGUARD's LED

2.4.3 ベンチ試験評価

(1) 信頼性評価試験

テスター回路単体及び電池組み込み状態で各種信頼性を評価した。表2に主な環境試験項目と試験条件を示す。環境試験はJASO D001「自動車用電子機器の環境試験方法通則」を準拠して実施した。-40℃～100℃の温度サイクル試験時の電池に組み込まれたオンガード上面の表面温度変化を図7に示す。環境試験によりテスター回路本体、接続部に熱的なストレスを与えたが、何れも、環境試験後の動作に異常は認められなかった。また、接続部の信頼性を確認するため、温度サイクル終了品を用いて比重1.28(20℃)の硫酸を滴下し、シール性を確認した。

機械的な耐久性としては、振動試験、締付強度試験を実施した。振動条件はJIS及びカーメーカー殿の試験条件を参考とした。締付強度試験もカーメーカー殿の試験条件を参考にした荷重で固定ステーを上面で締付け、周囲温度80℃の恒温槽内に所定時間放置した。何れの試験後もエフガード電池は正常に動作した。

また、オンガード判定回路の静電気負荷に対する耐久性を確認した。図8に静電気をオンガード回路上面に印加している状況を示す。30kVの静電気をオンガード上面、正極・負極端子に接触・非接触で印加したが、テスター回路は十分に静電気に対して耐久性を備えていることを確認した。

表2 テスター回路 (onGUARD) とエフガードの信頼性評価試験項目例

Table.2 Quality test item for onGUARD and FGUARD

評価項目	サンプル形状	試験条件
低温放置試験	単体	-40°C × 72h
低温作動試験	電池	-30°C × 70h
高温放置試験	単体	85°C × 94h
高温作動試験	電池	85°C × 118h
温度サイクル試験	単体、電池	-40°C ⇄ 85°C、 1 サイクル / 8h、30 サイクル
温湿度サイクル試験	単体、電池	-40°C ⇄ 85°C、湿度条件* 1 サイクル / 24h、10 サイクル
振動試験	電池	JIS D5301 及び カーメーカー殿条件
締付強度試験	電池	JIS D5301 及び カーメーカー殿条件

*湿度条件 JASO D001

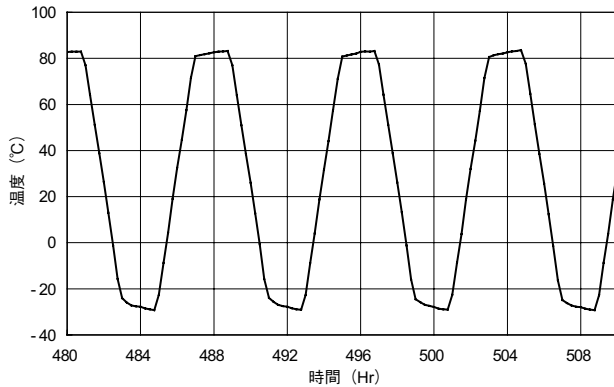


図7 電池搭載テスター回路表面の温度サイクル試験時の温度変化

Fig.7 Top surface temperature profile of onGUARD in battery during temperature cycle test



図8 静電気印加試験
Fig.8 Static electricity test

(2) 保存特性

エフガード電池は測定ボタンを押す (ON) と、1秒弱間、約 1A のパルスが流れるが、OFF 時の暗電流は十数 μA と極僅かで、保存特性には影響を与

えない。図9に25°C、約150日間放置時の開路電圧変化を示す。テスター回路の装着有無の差がない。また、エフガード電池の開路放置時のCCAコンダクタンスの変化例を図10に示す。25°C、1年放置状態でも低下は20%以下であり、1年間「良好」の緑色LEDが点灯することがわかる。

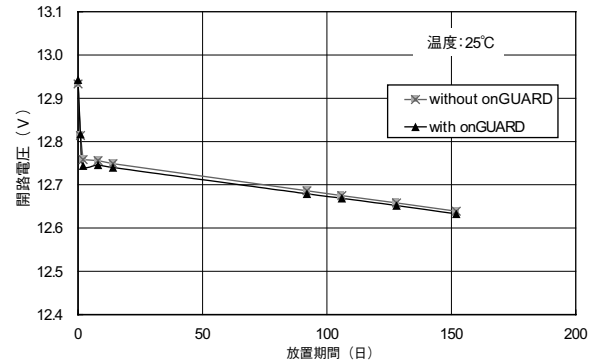


図9 放置時の開路電圧特性
Fig.9 Open circuit voltage characteristics during storage discharge

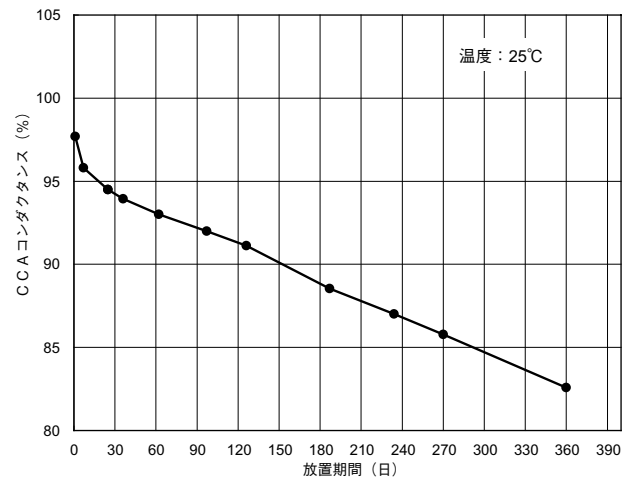


図10 放置時のCCAコンダクタンス特性
Fig.10 CCA conductance characteristics during storage discharge

(3) ベンチ寿命評価

75°Cと40°Cの気相雰囲気中でJIS D5301、軽負荷寿命評価を行い、判定電流放電による30秒目電圧とCCAコンダクタンスの経時変化を調査した。図11に示すとおり、両者は並行して低下するのを確認した。性能低下が小さい時は「良好」を表す緑色LEDが点灯し、性能低下に伴い黄色LEDの点灯に変わり、寿命末期には赤色LEDの点灯を確認した。

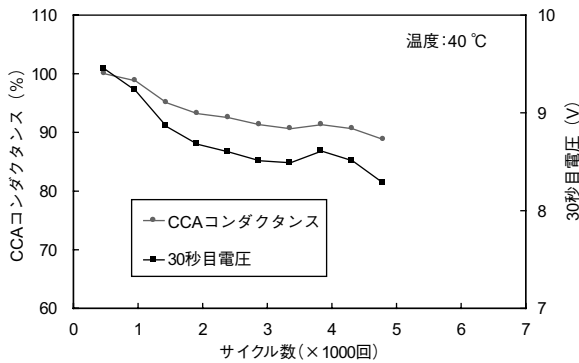


図 11 JIS 軽負荷寿命試験時の CCA コンダクタンスと 30 秒目電圧特性
Fig.11 Characteristics of CCA conductance and 30 sec voltage during JIS light load endurance test at 40°C

2. 4. 4 実車試験評価

エフガードをタクシー実車、オーナー実車試験に供試し、実使用時の耐久性評価を行っている。タクシー実車時の CCA コンダクタンス変化例を図 12 に、搭載状態を図 13 に示す。供試電池のテスター回路上面に貼ったサーモラベルからテスター部の温度が約 75℃まで上昇することを確認した。走行距離の増加に伴い、CCA コンダクタンスが緩やかに低下していくのがわかる。ベンチ試験と同様に、テスター回路の判定が「良好」から「注意」「要交換」に変化するのが確認できた。

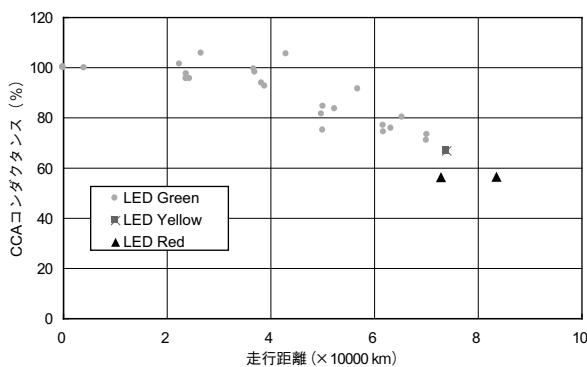


図 12 タクシー実車試験時の CCA コンダクタンス特性
Fig.12 CCA conductance characteristics during Taxi fleet test

走行試験後は、電池からテスター回路部を取り外し正常電池に取り付け、「赤色」を表示したオンガードの機能が正常であることを確認した。2 回目実車試験は電池数 10 個で実施し、1 回目の評価と同

様に平均約 8 万 km 走行し、SOC 及び SOH 判定機能は正常に動作した。



図 13 開発仕様エフガードのタクシー実車搭載状態
Fig.13 Installed FGUARD for development on taxi car

タクシー実車とは別に、20 個のオーナー実車試験を実施しており、エフガードは正常に動作することが確認されている。図 14 に初期搭載品の CCA コンダクタンスの経時変化を示す。36 ヶ月使用後も CCA コンダクタンスが高いことが推測される。

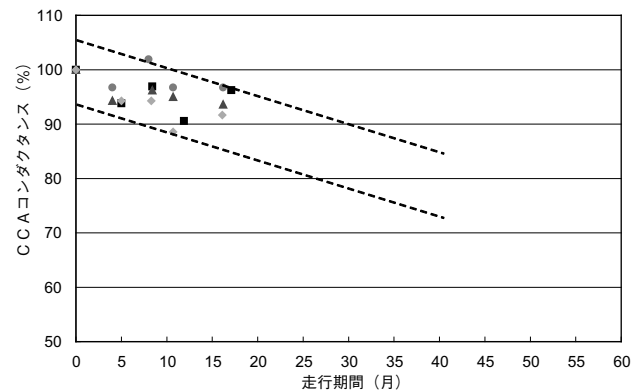


図 14 オーナー実車試験時の CCA コンダクタンス特性
Fig.14 CCA conductance characteristics during owner car fleet test

2. 4. 5 CCA コンダクタンス特性

「交換」の赤色 LED が点灯しても、必ずしもエンジン始動はできないことではないが、SOC や環境温度によっては、始動困難が予想される。CCA コンダクタンスの温度及び SOC の影響を図 15 に示す。温度 25℃において、SOC80%は SOC100%に比

べ約 2%と僅かな低下であるが、SOC80%で温度が 0℃に下がると、CCA コンダクタンスは約 7%低下する。温度の影響は大きく、低温になる程 CCA コンダクタンスは小さくなる。SOC100%において、-15℃で 25℃比約 20%低下、-25℃で約 30%低下することから、「交換」判定の CCA コンダクタンスの値を SOC、温度のマージンをみて設定した。

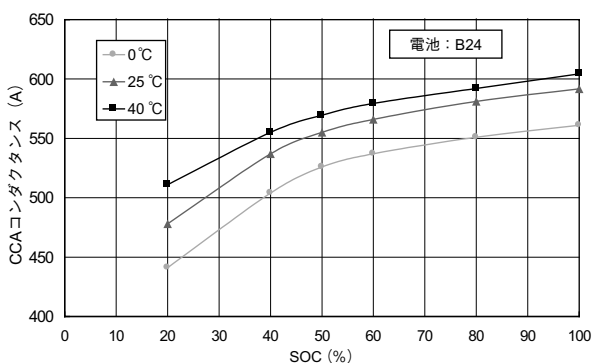


図 15 SOC と CCA コンダクタンスの関係
Fig.15 Relationship between SOC and CCA conductance

2.5 エフガード量産品の開発

2.5.1 テスター回路の形状と搭載方法

前節の結果に基づき、B19～D31の5形式の電池開発を行った。電池形式が異なってもテスター回路を同一サイズにして共通化し、テスター回路接続方法の簡易化を図り、また各電池の CCA コンダクタンスの定格値 (100%) を設定した。

接続方法はワイヤ方式に変更し、電池形式で異なる接続距離に対して、ワイヤの長さを調整することで対応が可能になった。これに合わせてプッシングアームの形状を変更した。図 16 に量産タイプのテスター回路を内蔵したエフガードを示す。寸法、質量についての新旧の差を表 3 に示す。開発機と比較し、高さで 64%、容積で 47%に小形化され、質量も約 1/2 に軽くなった。



図 16 量産タイプのエフガード (B19)
Fig.16 Mass-production FGUARD (B19)

表 3 新旧テスター回路の比較
Table.3 Comparison of two type onGUARD

	開発機	量産機
長さ (mm)	120 (100%)	80 (67%)
幅 (mm)	20 (100%)	22 (110%)
高さ (mm)	11 (100%)	7 (54%)
容積 (cm ³)	26.4 (100%)	12.3 (47%)
質量 (g)	35.5 (100%)	17.5 (49%)
接続部形状	PCB 延長部	ワイヤ方式

エフガード電池形式の 5 種類について、新たに CCA コンダクタンスの定格値を決めるため、市場から B19、B24、D23、D26、D31 の電池を回収し、1/2CCA に相当する CCA コンダクタンスを求め定格値を決定した。

2.5.2 エフガード量産品仕様

表 4 に本年 10 月発売のエフガードの主な仕様を示す。正極板の格子には耐食性が良好な C-21 合金を使用し、低鞍電槽により極板上電解液量を多くして、長寿命化を図った⁴⁾。

従来自動車電池と異なり、「要充電」を SOC 用 LED の点灯で知ることができるので、電解液比重により充電状態を示す必要がなくなり、インジケータは液面確認用のみとなった。テスター部上部を覆うラベルは操作と判定表示内容を記載し、一部回路が透けて見えるデザインにした。製品化されたのは、B19、B24、D23、D26、D31 の R/L、5 形式 10 品種である⁵⁾。

表 4 エフガード量産品仕様
Table.4 Specification of FGUARD for mass-production

項目	仕様
正極板	C-21 高耐食性合金 (ブックモールド格子)
負極板	Pb-Ca-Sn 合金 (連続鑄造格子)
セパレータ	ポリエチレン袋セパレータ
電槽	低鞍電槽
液口栓	防爆栓
インジケータ	液面確認用インジケータ

(参考文献)

- 1) 日本自動車連盟 (JAF) ホームページ
<http://www.jaf.or.jp/>
平成 14 年度のロードサービス救援内容
- 2) Michael Cox, Mike Fritsch, SAE Paper #2003-01-00-99
- 3) Battery Service Manual, Battery Council International
- 4) 根兵靖之、尾崎正則、本間徳則、古川淳、新妻滋、
本誌、8 (2003)
- 5) 本誌、83 (2003)

2.5.3 量産機テスター回路とエフガード量産品の評価

開発機と同様に、量産機においても環境試験等を実施し、耐久性、信頼性を評価し、問題がないことを確認した。実車評価としてタクシー実車試験を実施中である。

3. まとめ

JAF 殿の報告にも見られるとおり、自動車運転障害の最大要因の1つに電池トラブルがあるが、電池メーカーとして性能、信頼性の向上に努めている。この度、安全性を飛躍的に高める方法として、テスター機能を保有するスマート電池として FGUARD (エフガード) を世界に先駆けて開発した。コンダクタンス法により回路を小型化すると共に、SOH 及び SOC 判定のアルゴリズムをソフト化することにより、電池蓋部への搭載が可能となった。

エフガードは本文にも記載したとおり、高耐食性合金を採用しており、電池自体の高信頼性、長寿命化が図られている。テスター機能により充電不足、寿命末期などの情報を活用することにより、電池に起因するトラブルを未然に防止できる。適正な交換時期を知ることにより経済的に電池を有効利用できると共に、資源の有効活用と環境負荷の観点からも 21 世紀の地球環境時代に寄与できるものとする。

謝辞

本電池は米国 MIDTRONICS 社と共同開発されたものです。また、実車試験の種々のデータ採取にご協力をいただきました、平和交通株式会社 整備課の皆様に深く感謝致します。