

業務用車用高性能鉛蓄電池 「PRODA シリーズ」の開発

Development of High Performance Lead-acid Battery “PRODA Series” for Commercial Vehicles

多 田 和 樹* 秋 本 尚* 岩 口 善 人* 大 前 孝 夫*

Kazuki Tada Takashi Akimoto Yoshito Iwaguchi Takao Ohmae

Abstract

Recently, the usage environment of lead-acid battery for commercial vehicles changes more severe. One is prolongation of maintenance interval by legal. The fewer of battery checking number requires less water consumption property for battery performance. The other is increasing of electrical load by adoption of idling-reduction system. The load increase requires higher durability performance. To meet these requirements, we have put new "PRODA series" lead-acid batteries for commercial vehicles on the market since 2010. This series consists of four lineups: (1) PRODA NEO for general-purpose use, (2) PRODA BUS specialized for bus use, (3) PRODA TAXI specialized for taxi use, and (4) PRODA DELIVERY specialized for delivery use. This renewal series adopts three technology items of envelope type separator with glass mat, optimized positive grid alloy, and high density positive active material, thereby achieving both higher durability performance and less water consumption property, resulting in acquirement of good reputation among the commercial market.

Key words: Envelope separator; Idling-reduction; Lead-acid batteries; PRODA series

1 はじめに

当社では、2005年より大型車用鉛蓄電池として“PRODA basic”と“PRODA・E”の一般業務用車鉛蓄電池2シリーズとバス・タクシー・集配車用に“PRODA BUS”、“PRODA TAXI”、“PRODA DELIVERY”の専用鉛蓄電池を発売し、幅広い市場からの要望に応えてきた¹⁾。近年、これら「PRODA シリーズ」について、減液性能および耐久性に、よりすぐれた電池を求める声が市場から寄せられている。このような要望の背景

として、法令改正²⁾によりバスなどで1ヶ月に1回おこなわれていた法定点検が、3ヶ月に1回となり補水など電池保守の間隔が長くなったことがあげられる。そのため、従来は1ヶ月ごとの補水により液面が維持されていたが、3ヶ月ごとの点検では次回までに最低液面線を下回った状態で使用されることがある。また、近年の車両において鉛蓄電池は、電装品の増加やエコドライブの一環として推奨されるアイドリングストップの励行³⁾などにより、従来よりも深い放電で使用されることが多くなりつつある。

地球温暖化防止策として2015年度燃費基準⁴⁾が課せられるなか、アイドリングストップについては、市

* グローバル技術統括本部 自動車電池技術部

街地走行では燃費が14%程度改善する⁵⁾といわれている。このため、有効な燃費改善方法として新車における自動停止機構の採用や信号待ちでの手動によるエンジン停止などが積極的に実施されている。このような使用環境の変化により、業務用車に搭載される鉛蓄電池は、従来に比べて過酷な環境で使用されていると考えられる。今回、市場の要望に応えるために、よりすぐれた電池を開発し、「PRODAシリーズ」のリニューアルをおこなったので報告する。

2 市場要求

近年、トラック・バスなど商用車における電池の使用環境が大きく変化してきている。減液性能・耐久性に影響を与える従来からの変化としてつぎの点があげられる。

- (1) 法令改正による点検頻度の減少
- (2) アイドリングストップの励行
- (3) 車両の電動化・車載電装品の増加
- (4) 搭載環境の高温化（搭載位置の変化）

このような使用環境の変化を踏まえ、本開発に際して電池の劣化モードを調べるために市場回収品の調査をおこなった。劣化モード調査として、ユーザーにて寿命と判断されたハイブリッド電池119個を調査対象とした。解体調査の結果、劣化モードは正極板の劣化に起因するものが39%を占めていた。調査例としてFig. 1にトラックで24ヶ月使用された130F51形電池の劣化モードとその極板写真を示す。このなかで、正

極格子体の腐食と活物質の軟化脱落および電槽底部への堆積物が認められたことから寿命原因は、正極板の劣化であると考えられる。

今回、対象とした調査電池は、バス・トラックなど幅広い車両に搭載されていたものをピックアップしたが、いずれの電池も正極板の劣化が進んでいた。従来、このような車両では過充電による正極格子体の腐食が一般的な劣化モードであったが、今回の調査では正極活物質の軟化が多く認められた。このような劣化の進行がおこる条件は、つぎのとおりである。

- (1) 正極活物質の軟化が進行していることから、深い放電で使用される。
- (2) 正極格子体の腐食が同時に発生していることから、過充電または腐食が促進されやすい環境にある。

このような知見と、近年の使用環境の変化とをあわせ、大形電池の劣化メカニズムを推定した。Fig. 2にそのメカニズムを示す。従来の使用環境では、電気負荷が小さく減液も少ないため、正極活物質の軟化および電解液の高比重化がおこりにくく、過充電による正極格子体の腐食のみが進行する（白色矢印）。一方、最近の市場における電池劣化は、つぎのような過程によって促進されるものと考えられる（黒色矢印）。

- (1) アイドリングストップや電装負荷の増加により、深い放電を繰り返すことで正極活物質の軟化脱落が発生しやすくなる。
- (2) 脱落した正極活物質による微小短絡の発生や高温環境によって過充電状態となる。
- (3) 過充電による減液量の増加により、電解液が高比

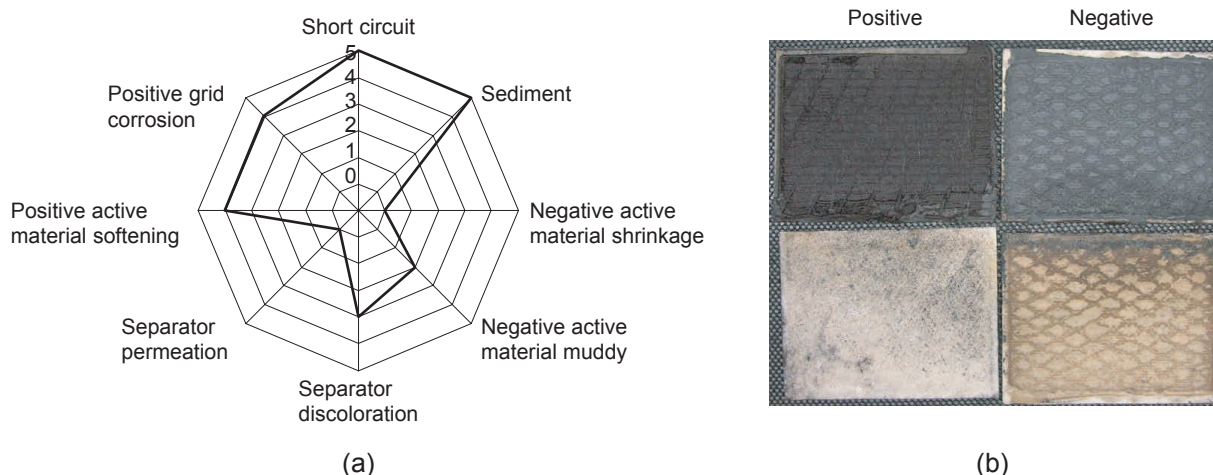


Fig. 1 Results of tear down analysis of 130F51 type lead-acid batteries installed in the truck for 24 months. (a) Failure mode analysis, (b) Representative photos of positive and negative plates. Positive grid corrosion and positive active materials softening were observed.

重化して正極板の劣化を促進する。

この過程が繰り返されると、さらに劣化が加速されることになる。また、ハイブリッド電池の寿命末期においては、正極格子体合金中のSbの影響により、減液が多くなることが知られており、補水間隔が長くなると、この劣化メカニズムがより進行しやすくなるものと考えられる。これらの劣化メカニズムおよび市場要求を踏まえ本開発品は、減液性能の改善について重点をおくこととした。

3 新規開発電池

3.1 コンセプト

今回開発した電池は、近年のバス・トラックなど業務用車の使用環境に適合するため減液特性の改善策を検討し、使用期間中の通常減液および寿命末期の急激な減液の抑制をはかった。このために、すべてのラインアップでガラスマット付エンベロープセパレータを

採用し、正極格子体合金の見直しをおこなった。各ラインアップの特長について以下にまとめる。

(1) PRODA NEO (大型車用シリーズ)

従来の“PRODA basic”, “PRODA・E”を統合し“PRODA NEO”として一新した。ガラスマット付エンベロープセパレータの採用により、内部ショートと活物質の脱落を抑制し、過酷な使用環境下でも、高い耐久性を維持できる。

(2) PRODA BUS (バス専用シリーズ)

高温連続使用やアイドリングストップなど、バス特有の厳しい使用環境に対応させるため、正極格子体の太棧化と高密度正極活物質を採用している。

(3) PRODA TAXI, PRODA DELIVERY (タクシー専用、配送車専用シリーズ)

頻繁な発進停止をとともなう用途においては、充電不足や深い放電が繰り返される。そのために、電解液比重の最適化をおこない、また、正極格子体の太棧化と高密度活物質を採用している。

Table 1にPRODAシリーズ電池への適用技術およびその期待効果を示す。

3.2 ガラスマット付エンベロープセパレータ

開発品は、ガラスマット付エンベロープセパレータを採用した。同方式は、1987年に当社の前身である湯浅電池が発売したサイクルサービス用蓄電池に採用されていたものである(Fig. 3)。Fig. 4に従来品と開発品の極群構造の違いについて示す。従来品は、ガラスマットと貼り合わせた板状セパレータを極板と交互に積層していた。一方、開発品では、負極板をエンベロープセパレータに収納して積層することにより、極群下部・側部での短絡抑制および短絡によって引き起こされる急激な減液の防止をはかった。さらに、従来品同様にガラスマットを併用することで極群を圧迫し、活物質の脱落抑制をはかった。

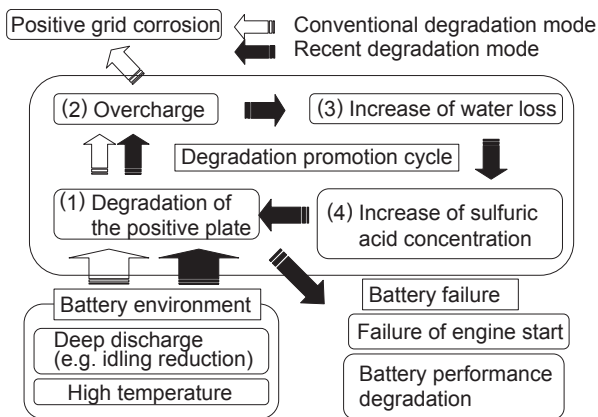


Fig. 2 Degradation mechanism of a lead-acid battery for commercial vehicle.

Table 1 Adopted technologies and their effect for lead-acid battery “PRODA series”.

| Applied technologies | PRODA series | | | Effects |
|---|---|-------------|---|--|
| | PRODA NEO | PRODA BUS | PRODA TAXI, PRODA DELIVERY | |
| | Truck, Construction machine D23-H52 (except 170F51) | Bus G51-H52 | Taxi, Delivery vehicle PTX-D26, PDL-E41 | |
| Envelope separator with glass mat | ○ | ○ | ○ | Suppression of short-circuit |
| Optimized positive grid alloy | ○ | ○ | ○ | Improved water consumption |
| High density positive active material | | ○ | ○ | Suppression of active material softening |
| Optimization of specific gravity of electrolyte | | | ○ | Improved charge acceptance |

○ : Applied



Fig. 3 Cycle service lead-acid battery catalog issued around 1987 by Yuasa Battery Co.,Ltd. (Currently GS Yuasa Corporation).

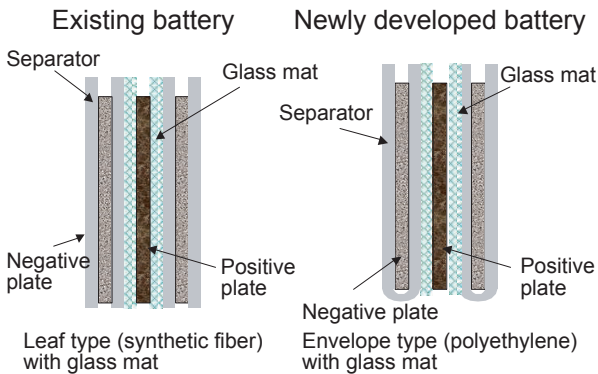


Fig. 4 Cross-sectional electrode assemblies for newly developed and existing lead-acid batteries.

3.3 正極格子体合金の最適化

減液性能を向上させるため、正極格子体の合金組成を見直し、最適化をはかった。本合金は、従来から中小型車用のD31サイズまでの電池に適用していたが、今回の開発にあたって、バス・トラックなどで使用される大形電池にも適用した。JIS減液試験性能は、正極格子体合金の最適化により約42%改善された (Fig. 5)。

3.4 その他

隔離方式・正極格子体合金の変更のほか、バス・タクシー・集配車専用鉛蓄電池については、使用環境に応じて高密度正極活物質の採用と電解液比重の最適化をおこなった。

3.4.1 高密度正極活物質

アイドリングストップなど、深い放電で使用されることの多い用途では、正極に高密度活物質を採用し極板の耐久性を向上した。高密度正極活物質の採用によ

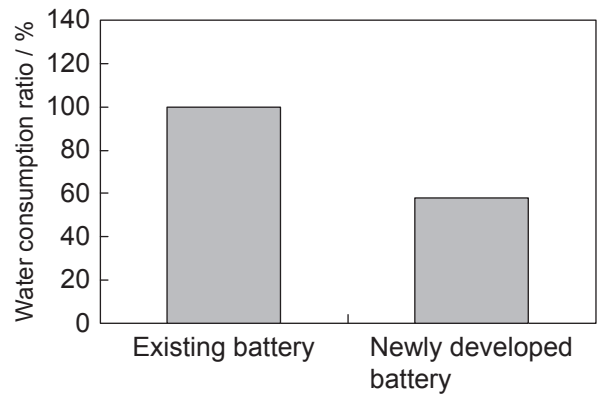


Fig. 5 Water consumption performance for newly developed lead-acid battery with new-optimized alloy grid based on the case of existing battery with normal alloy grid in accordance with JIS water consumption test method.

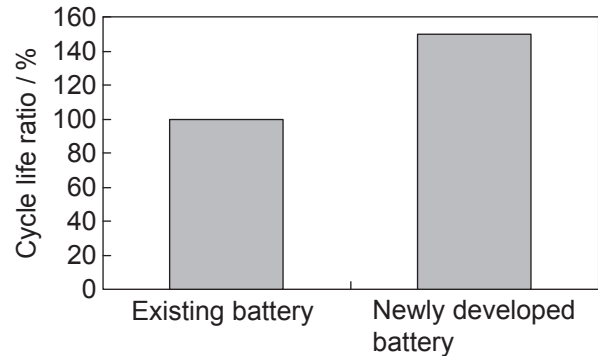


Fig. 6 Endurance performance of newly developed lead-acid battery with high density positive active material based on existing battery with normal active material at 60 °C in accordance with JIS heavy load endurance performance test.
Discharge: 0.4 CA for 1 h.
Charge: Constant voltage of 2.47 V for 2 h with maximum-limited current of 2.5 CA.

り、当社標準活物質に対して、JIS重負荷寿命性能は50%改善された (Fig. 6)。

3.4.2 電解液比重の最適化

充電受入性能が要求されるバス・タクシー・集配車について電解液比重の最適化をおこない、JIS充電受入れ性試験において約35%改善した。

4 評価試験

寿命試験により、開発品に適用したガラスマット付エンベロープセパレータおよび正極格子体合金の最適

化による減液性能の改善効果について検証をおこなった。

4.1 寿命評価試験 I

開発電池と従来電池で、165G51形電池相当〔2V電池、136 Ah (5HR) 760 A (CCA: Cold Cranking Amperes)〕の試験電池を作製した。前者に適用した主な技術は、新格子体合金およびエンベロープセパレータであり、後者のものは従来格子体合金およびリーフセパレータである。これらの適用技術の効果を確認するために、実車における深い放電と高温環境による過充電・減液を想定したサイクル寿命試験評価をおこなった。

試験は、60℃の水槽中で、DOD (Depth of Discharge) 40%放電と定電圧充電のサイクルをおこない、DOD 40%放電時の末期電圧と週一回の30秒間大電流放電で寿命判定をおこなった。

開発品は、サイクル中の容量低下により寿命となった (Fig. 7)。30秒間大電流放電の終期電圧は、開発品・従来品とも低下しなかった (Fig. 8)。開発品は、寿命となるまで電流の増加は認められなかったが、従来品は、短絡によると思われる充電末期電流の増加が見られたため360サイクルで中止した (Fig. 9)。

試験電池の解体調査結果を Fig. 10 に示す。従来品では、正極活物質の軟化および正極格子体の腐食が認められた。また、極群側部で短絡が発生しており、充電末電流増加の原因と推定される。一方、開発品でも寿命時点で同様の劣化が認められたが、エンベロープセパレータを採用したことにより短絡は認められな

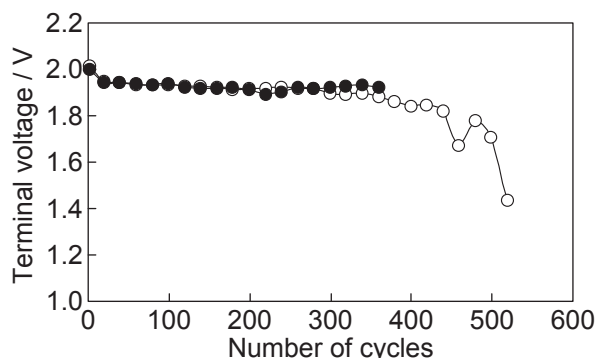


Fig. 7 Changes in terminal voltage at the end of discharge with cycling for newly developed lead-acid cell (○) and existing one (●) at 60℃.

Test condition

Discharge : Reach to DOD40% or to 1.0 V.

Charge : Constant voltage for 2 h.

かった。60℃高温サイクル寿命試験から以下の点が確認できた。

- (1) 正極格子体合金変更により、減液性能が改善される。
- (2) エンベロープセパレータ採用により、極群下部・側部での短絡が抑制される。
- (3) 寿命末期において、浸透短絡やエンベロープセパレータの物理的損傷はなく良好な状態である。

4.2 寿命評価試験 II

前節と同様な技術を適用した開発電池として、180G51形電池相当〔12V電池 128 Ah (5 HR) 1090 A

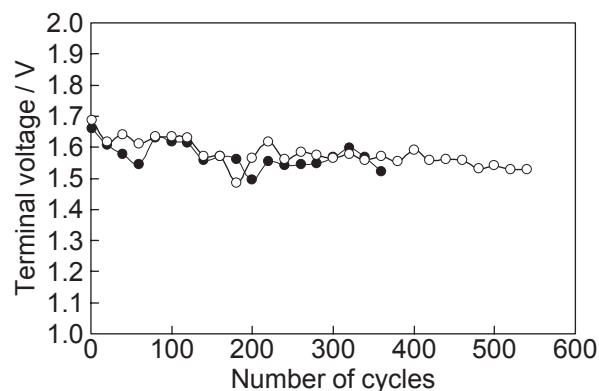


Fig. 8 Changes in 30 sec-discharge voltage at 660 A at 60℃ with cycling for newly developed lead-acid cell (○) and existing one (●). This test was conducted during cycle life test under the condition : Discharge of DOD40% or to 1.0 V followed by charge of constant voltage for 2 h.

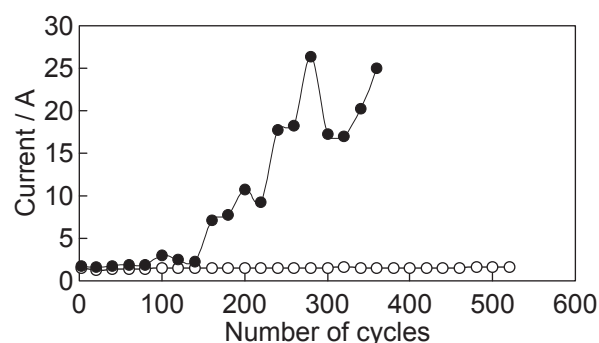


Fig. 9 Changes in maximum charging current under constant voltage of 2.47 V with cycling for newly developed lead-acid battery (○) and existing battery (●). This test was conducted during cycle life test under the condition : Discharge of DOD40% or to 1.0 V followed by charge of constant voltage for 2 h.

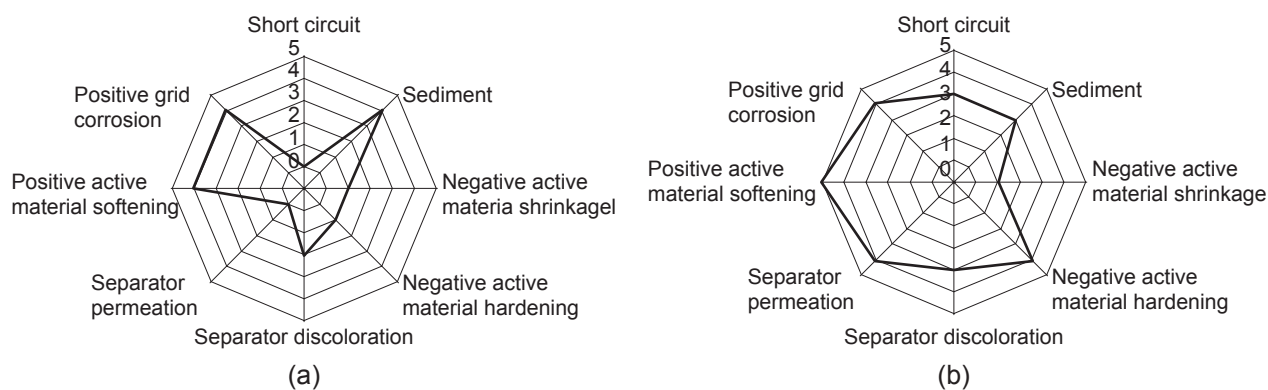


Fig. 10 Failure mode results by tears down analysis of newly developed lead-acid cell after 540 cycles (a) and existing one after 360 cycles (b). Softening of positive active material and corrosion of positive grid were observed for both batteries, but short-circuit was only confirmed in existing battery.

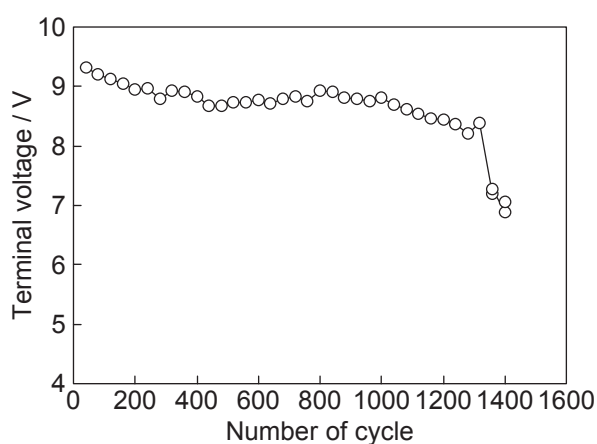


Fig. 11 Change in 30 sec-discharge voltage at 948 A at 40 °C with cycling for newly developed lead-acid cell. This test was conducted every week during cycle life test under the condition: Discharge of DOD40% or to 1.0 V followed by charge of constant voltage for 2 h.

(CCA) の試験電池を作製して、40 °Cにおけるサイクル寿命試験をおこなった。その条件は、40 °Cの水槽中で、DOD40% 放電と定電圧充電のサイクルをおこない、DOD40% 放電時の末期電圧と週一回の30秒間大電流放電で寿命判定をおこなった。

その放電末電圧の推移を Fig. 11 に示す。本試験パターンでは、1400 サイクルで寿命となった。また、試験中の減液量推移について Fig. 12 に示す。寿命末期まで減液量の急激な増加は認められなかった。

解体調査の結果、正極活物質の軟化および正極格子体の腐食により寿命となっていることが確認できた (Fig. 13)。これらの結果から、開発品は、正極格子体合金の最適化による減液性の改善およびエンベロープ

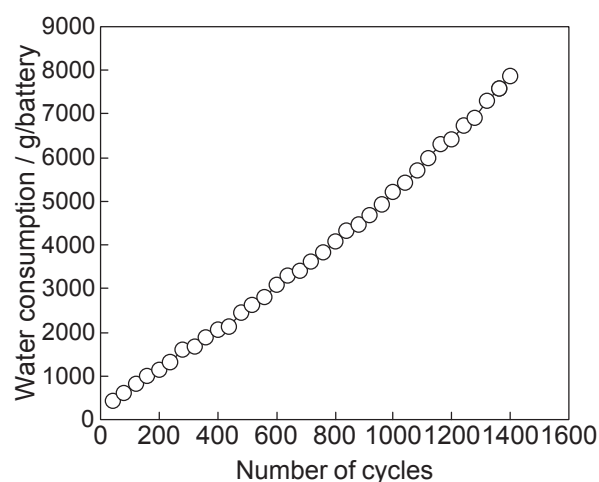


Fig. 12 Change in water consumption at 40 °C with cycling for newly developed lead-acid battery under the condition: Discharge of DOD40% or to 1.0 V followed by charge of constant voltage for 2 h.

セパレータによる極群下部・側部での短絡抑制が確認できた。

5 実車試験

バスは車載機器が多く、市街地走行などアイドリングストップの回数が多いため、電気負荷が大きく深い放電で使用されやすい。このため、実車試験としてバスに従来品・開発品を搭載し、減液性能・耐久性の改善効果について検証をおこなった。実車試験は京阪神地区の路線バス7拠点・東京地区の高速バス3拠点で実施した。電池はE41, G51, H52の各サイズでおこなった。Fig. 14 に各拠点における実車試験中の搭載期間

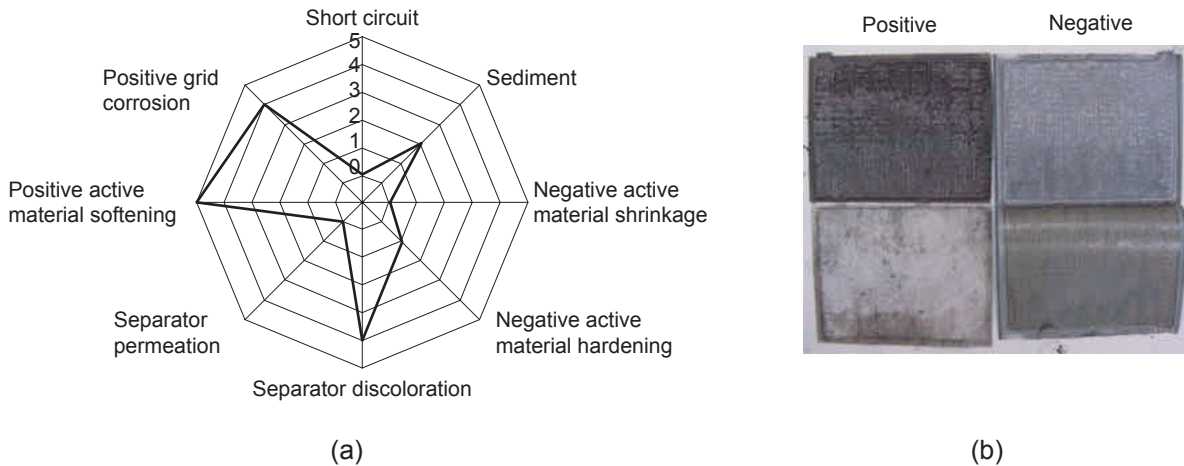


Fig. 13 Results of tear down analysis of newly developed lead-acid battery after 1400 cycles under the condition of DOD40% or to 1.0 V followed by charge of constant voltage for 2 h. (a) Failure mode analysis, (b) Representative photos of positive and negative plates.

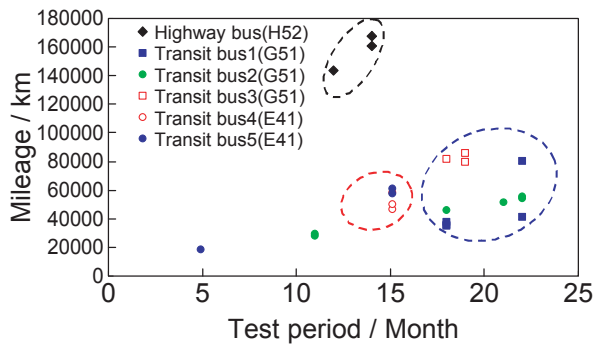


Fig. 14 Test period and mileage in a field test for newly developed battery and existing one installed in bus. Actual vehicle tests were performed at three sites based in the Tokyo area and Kansai district. Test battery sizes : E41, G51, and H52 types.

と走行距離を示す。今回実車試験をおこなったバスは形式と用途によって、つぎのように分類できる。

- (1) 高速バス (H52) リムジンバス 約 12,000 km/月
- (2) 路線バス (G51) 一般路線バス 約 2,300 ~ 4,400 km/月
- (3) 路線バス (E41) コミュニティバス 約 3,400 ~ 3,800 km/月

減液性能・耐久性の改善効果を検証するため、市街地走行が多い路線バスに搭載した電池の結果を基に検証をおこなった。E41 サイズの電池を搭載した車両の減液量推移を Fig. 15 に示す。拠点 A では、従来品・開発品の間には減液量の差はみられなかったが、拠点 B においては約 16 ヶ月経過時点で顕著に差が見られた。

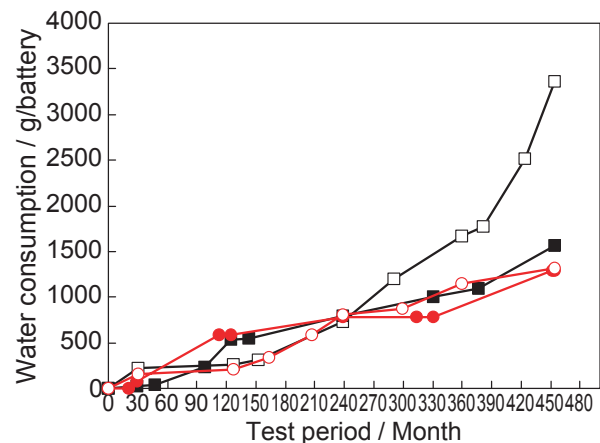


Fig. 15 Trend of water consumption in field test for E41 type lead-acid batteries installed in bus under different urban running conditions. Base B (○, □) covers area requiring a lot of idling frequency 1.6 times more than the case of Base A (●, ■). Newly developed batteries (○, ●), Existing batteries (□, ■).

各拠点の差についてヒアリングをおこなった結果、拠点 B では市街地走行が多くアイドリングストップが約 1.6 倍の頻度でおこなわれており、より深い放電で使われていることがわかった。このような環境下では、Fig. 2 に示したメカニズムを経て減液が促進されるものと考えられる。拠点 A のようにアイドリングストップの少ない環境では従来品でも開発品と同等の減液性能を示した。一方、拠点 B のようなアイドリングストップの多い過酷な環境では、開発品でより減液性能にすぐれた結果が得られた。

拠点Bから回収した電池について、補充電後の5時間率容量を Fig. 16 に示す。開発品は、補充電により初期性能の約40%、従来品は20%程度回復した。使用期間・走行距離がほぼ同じ環境であり、残存性能の回復率が高いため、開発品は劣化が抑制されるものと考えられる。これらの電池の解体調査結果を Fig. 17 に示す。いずれの電池も、正極活物質の軟化脱落が進行していた。従来品では、正極活物質の軟化脱落による下部微小短絡が認められたが、開発品ではエンペロープセパレータにより下部短絡が抑制されていた。減液量の差については、従来品の場合には、微小

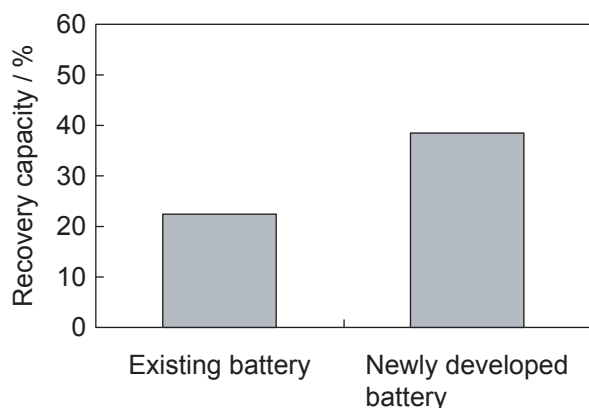


Fig. 16 Delivered capacity at 0.2 C rate after recovery charge for collected lead-acid batteries used in Base B. Newly developed battery : 16 months past (61,019 km mileage); Existing battery : 15 months past (57,692 km mileage).

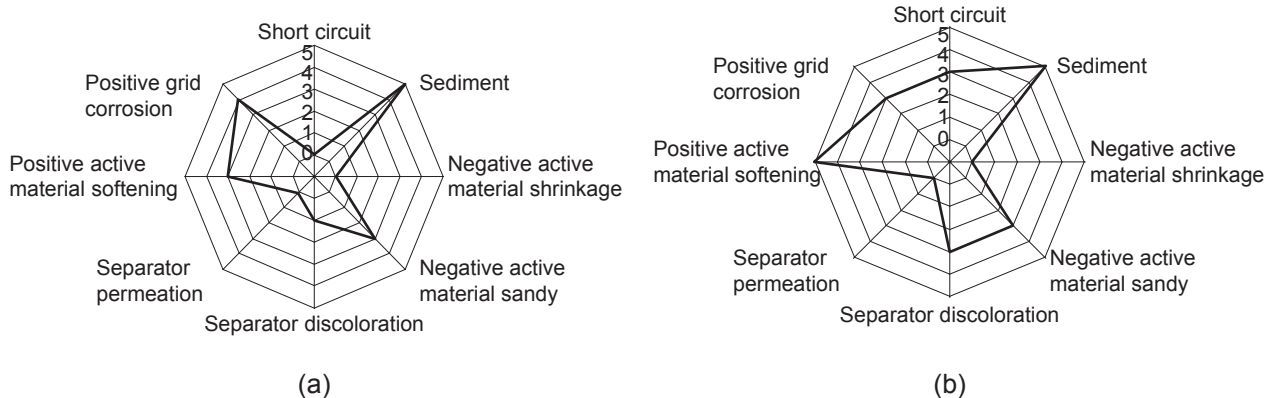


Fig. 17 Failure mode results by tears down analysis of collected lead-acid batteries from transit bus used in Base B in Fig. 16. Newly developed battery (a): 16 months past (61,019 km mileage); Existing battery (b): 15 months past (57,692 km mileage). Softening of positive active material and corrosion of positive grid were observed for both batteries, but small short-circuit was only confirmed in existing battery.

短絡によりその減液量が増加するものと考えられる。これらの結果、つぎのことが確認できた。

- (1) 開発品は寿命末期まで急激な減液は無く、減液量も従来品より少ない。
- (2) アイドリングストップ回数の少ない拠点では、従来品も開発品とほぼ同様の減液性能である。
- (3) アイドリングストップの多い拠点では、開発品の優位性が見られ、補充電後の性能が回復率が40%と高い。

以上のべてきたように、開発品は従来品よりも過酷な環境において、減液量および正極板の劣化を抑制し、減液性能・耐久性の改善効果のあることが確認できた。

6 おわりに

近年の環境変化を踏まえて「PRODA シリーズ」をリニューアルし、減液量がより少なく耐久性にすぐれた電池を開発した。本シリーズは2010年6月から市場投入を開始し、好評を得ており、今後も「バッテリー・ゼロ」に取り組む所存である。

謝 辞

実車試験に際し、ご協力賜りました関係各位に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) *GS Yuasa Technical Report*, 2 (2), 50-51 (2005).
- 2) 道路運送車両法 第48条.
- 3) 全日本トラック協会, 環境基本行動計画 対策と基本指針, http://www.jta.or.jp/kankyo/kihonkodo/ki_page2.html.
- 4) 国土交通省, 乗用車等の新燃費基準(トップランナー基準)の策定について, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/09/090702_.html.
- 5) 省エネルギーセンター, アイドリングストップ2002 / 走行データ, <http://www.eccj.or.jp/idstop/caravan02/data.html>.