

自動車用鉛電池における最近の技術動向

Recent Technological Developments of Lead-acid Batteries

大角重治* 塩見正昭**

Shigeharu Osumi Masaaki Shiomi

Abstract

From the viewpoint of environmental preservation and recent serious energy situation, including the escalating price of crude oil, Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry determined the "New National Energy Strategy" in 2006. One of the targets in the new strategy is the reduction of oil dependence in transport sector to around 80% by 2030. To achieve the above mentioned target and severe regulations concerning improvement of fuel economy, new car technologies, such as hybrid electric vehicles, idling stop system, and charge control (passive boost) system have been developed by car manufacturers. In the course of developing these technologies, roles of batteries have also been changing, resulting in developing new battery technologies, some of which are reviewed in this report.

Key words: Lead-acid battery; Environmental preservation; Fuel consumption

1 はじめに

近年、CO₂排出量の急激な増加による気候変動問題や、原油価格高騰をはじめとする厳しいエネルギー情勢等をかんがみ、国家レベルでの長期的なエネルギー戦略が構築され始め、日本では、2006年に「新・国家エネルギー戦略」¹⁾が立案された。Fig. 1に示すように、エネルギー消費効率は、石油ショック以降、過去30年間で約37%改善されたが、2030年までにさら

に30%の効率改善を目指している。また、Fig. 2に示すように、現在、運輸部門の石油依存度はほぼ100%

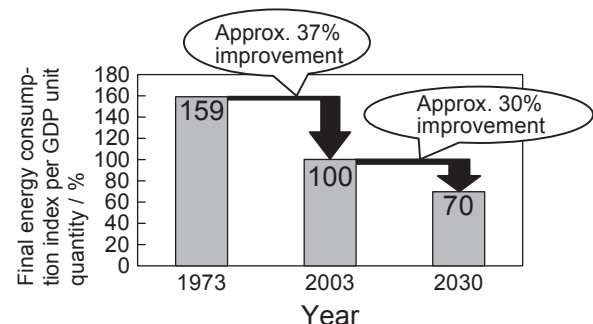


Fig. 1 Basic concept of the energy conservation policy in Japan.¹⁾

* (株)ジーエス・ユアサ パワーサプライ
インダストリー事業本部 技術開発本部

** (株)ジーエス・ユアサ インターナショナル
事業推進部

であるが、2030年までに石油依存度を80%にまで削減することが目標とされている。

自動車技術会の次世代燃料・潤滑油委員会は、これらの目標を達成するためには、ハイブリッド自動車、クリーンディーゼル車、プラグインハイブリッド車等を大幅に増やすとともに、後述する2015年燃費基準をクリアする必要があるという提言²⁾をおこなっている。

一方、2002年の地球温暖化対策推進大綱³⁾では、運輸部門の省エネルギー対策として、トップランナー基準適合車の加速度的導入の他、アイドリングストップの推進による燃費の改善をあげ、国内自動車メーカーに推進を働きかけている。また、2015年までに、2004年実績比平均で7.2%（小形バスの場合）～23.5%（乗用車の場合）の燃費改善となる「2015年規制」が2007年7月に公示され⁴⁾、自動車メーカーにとって非常に厳しい燃費改善が求められている。本規制では乗用車の場合、JC08モードによる平均燃費で、13.6 km/l（2004年）から16.8 km/l（2015年）への改善が求められることになる。

さらに、欧州では、欧州委員会から2012年までにCO₂排出量を163 g/km（2004年）から120 g/km（2012年、20 km/lに相当）まで削減する案が2007年2月に提出された⁵⁾。また、アメリカでは、2020年までに燃費を14.9 km/l（現行基準は10.2 km/l）とする、32年ぶりに大幅改定された新エネルギー法案が、2007年12月に成立した⁶⁾。

このような燃費改善要請や排ガス規制が強まる中、鉛電池メーカーにおいてもさまざまな技術開発がおこなわれており、その概要について以下にのべる。

2 近年のカーメーカーの動きと鉛電池の対応

上記規制や長期目標に対応するため、カーメーカー

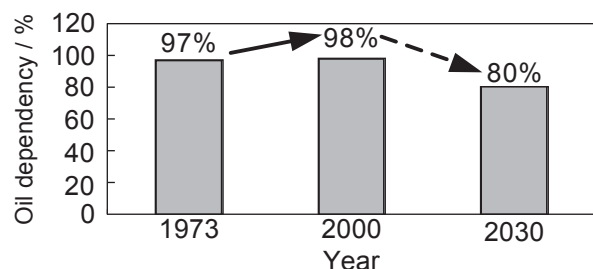


Fig. 2 Oil dependency in Japanese transport sector and its target value in 2030.¹⁾

は燃費改善をとまなう、さまざまな新商品・新技術を発表しており、その新技術に対応すべく、鉛電池メーカーでも新商品開発が進められてきた。そのうちのいくつかを以下に紹介する。

2.1 ハイブリッド自動車 (HEV)

Ni-MH電池を用い、エンジンとモーターとを組み合わせさせたHEVは、既存ガソリン車に比べ80～100%の燃費改善が可能で、乗用車に関しては97年に「Prius（トヨタ）」が発売されて以降、毎年着実に増加し、2007年には世界で約49万台が販売されている⁷⁾。今後も、日本と北米では成長が予想されており、Fig. 3に示すように、2010年には世界で110万台の販売が予想されている⁸⁾。

現在、HEVにおいては制御弁式鉛（VRLA）電池が補機用として搭載されている（Fig. 4）が、信頼性・耐久性・コストの観点から、今後もHEVでも鉛電池は重要な役割を担うと考えられている⁹⁾。

なお、数年前までは、鉛電池を主電池に用いたハイブリッド車も発売されていたが^{10,11)}、現在ではそれらのほとんどがNi-MH電池にシフトしているか、販売を終えている。

2.2 マイルドハイブリッド車 (M-HEV)

M-HEVは36V-VRLA電池（Fig. 5）を主電源に用いて、EV走行、パワーアシスト、回生エネルギーの取り込みなどをおこなうもので、燃費改善は15～20%程度と小さいが、HEVと比べるとコストアップは小さい。これまで、数社が発売している^{12,13)}。

本用途では、回生エネルギーの取り込みを最大化するため、鉛電池は完全には充電されない状態（Partial State of Charge, PSOC）で使用される。その結果、負極活物質のサルフェーション劣化（充電されにくい粗大化した硫酸鉛が生成し、内部抵抗が増大する現象）がおこりやすく、その解決が最大の課題であった。そ

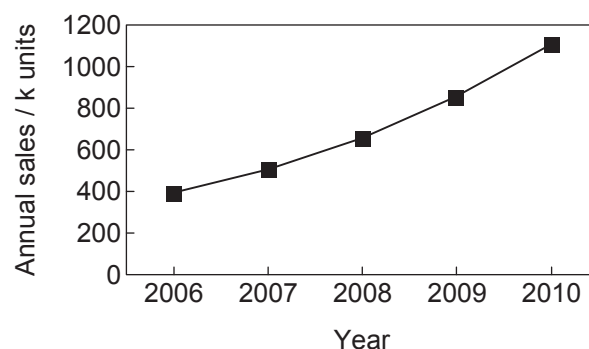


Fig. 3 Sales trend of hybrid vehicles in the world.⁸⁾



Fig. 4 Photograph of VRLA battery for auxiliary equipment in hybrid vehicle "Prius".



Fig. 5 Photograph of 36 V VRLA battery for mild hybrid electric vehicle.

ここで、充電受入性能を改善するため、負極活物質に添加するカーボン技術が開発された^{14,15)}。

Fig. 6 に PSOC 条件下での充放電サイクル寿命試験結果を示す。この図から、特殊なカーボンを添加することによって PSOC 条件下での寿命性能が大幅に改善されることがわかる。このように寿命性能が大幅に改善されるのは、Fig. 7 に示すように粗大な硫酸鉛の間にカーボン粒子による導電パス（カーボンネットワーク）を形成させることによって、サルフェーションの発生を遅延させることができるためと考えられる。

また、従来の始動用で使用する場合に比べ、より深い充放電に耐える必要があるため、EV 用電池で適用されていた正極活物質技術（ある種の添加剤および高密度活物質）を本用途に展開している¹⁶⁾。

正極活物質密度を高くするほどサイクル寿命性能が向上することはよく知られているが、一方、高密度活物質を使用すると容量が少なくなる。そこで、高密度活物質にある種の物質を添加することによって、寿命性能を改善するだけでなく、容量、とくに高率放電時の容量低下を抑制することができる (Fig. 8)。

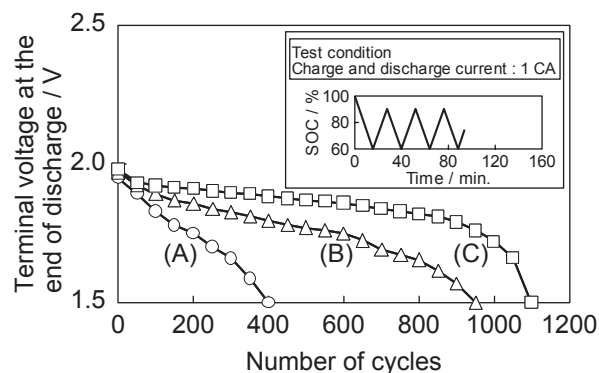


Fig. 6 Representative cycle life performance of VRLA batteries using negative active material with various amount of carbon under partial state of charge (PSOC) pattern cycle test. Amount of carbon : (A) standard, (B) 3 times of A, and (C) 10 times of A.

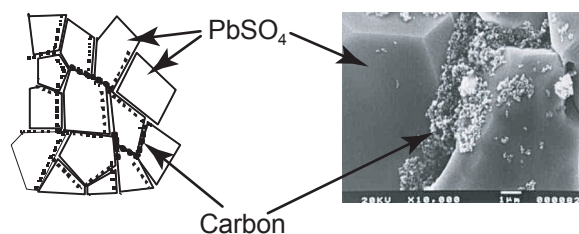


Fig. 7 Schematic model for electric conductivity network formation among PbSO_4 crystal particles by addition of new functional carbon powders into negative active material of lead-acid battery under partial state of charge operation.

本電池の開発に当たっては、電池の構成部材の改良だけでなく、電池の充電状態 (State of Charge, SOC) や健全性 (State of Health, SOH) を検出する技術も開発された。さらに、精度の高い判断をおこなうため、電池の内部抵抗と開路電圧とを組み合わせ、SOC および SOH の両方を判断できるマッピング技術が開発された¹²⁾ (Fig. 9)。

2.3 アイドリングストップ車

アイドリングストップとは、信号待ちの時間や荷物の積み込み・積み下ろし時に、エンジンを停止させ、ガソリンの消費を抑制するというものである。日本では物流トラックやバスにおいてアイドリングストップ車両が増えており、対応する開放形鉛電池や VRLA 電池が発売されている¹⁷⁾ (Fig. 10)。

アイドリングストップを実施し、エンジンを頻繁に入り切りすると、電池にとっては放電される回数 (量)

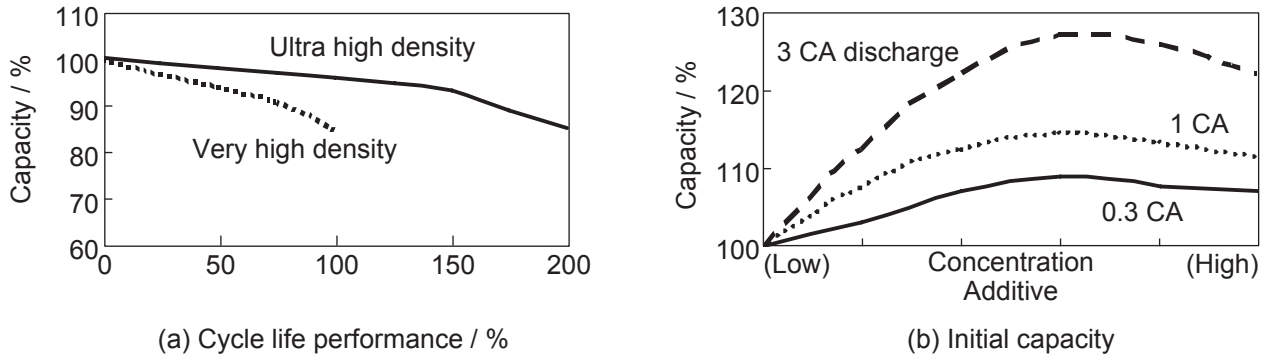


Fig. 8 Effect of newly developed technologies applied to positive active material of lead-acid battery: (a) high density of positive active material for longer cycle life and (b) special additive for higher capacity.

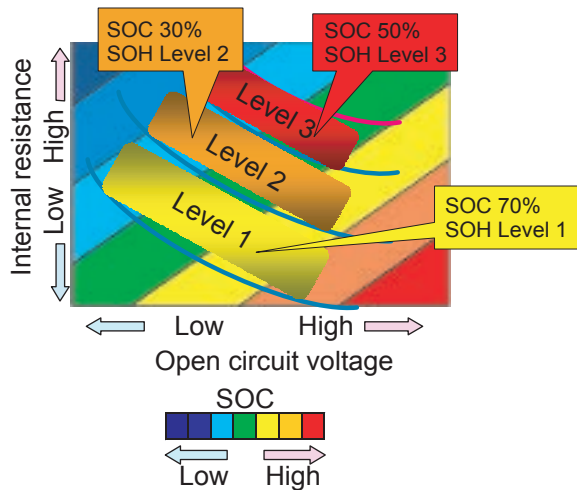


Fig. 9 Mapping technology to detect SOC and SOH of VRLA batteries.¹²⁾



Fig. 10 External appearance of newly developed batteries for idling stop buses and trucks: flooded type (upper side) and VRLA type (lower side).

が増えるだけでなく、従来よりも充電される機会が少なくなり、早期に劣化する可能性がある。そこで、これらの電池では、頻繁な始動による活物質の劣化を抑制するための高密度活物質処方や、短時間に効率よく充電されるための電解液処方などが適用されている。

アイドリングストップを実施すると、燃費は3%（都市間道路）～14%（東京の環状道路）程度向上することが省エネセンターの調査結果からわかっている¹⁸⁾。アイドリングストップによる燃費改善は、HEVやM-HEVほど大きくはないが、システムコストが安価なため、普及が進みやすく、国あるいは世界全体でのCO₂排出量削減の効果は大きい。

今後、上述した「2015年規制」をクリアするため、アイドリングストップシステムが一般乗用車用にまで展開されるものと思われる。

開放形鉛電池と改良形VRLA電池とをそれぞれ、アイドリングストップ乗用車に2ヶ月間搭載して性能評価した。改良形VRLA電池とは、2.2項で示したM-HEV用VRLA電池技術を導入した電池である。その結果をFig. 11および12に示す。開放形鉛電池では正・負極板とも極板下部に硫酸鉛が蓄積して充電状態が低下したが、改良形VRLA電池では硫酸鉛の蓄積が少なくSOCの低下も少なかった¹⁹⁾。

Fig. 13に実車試験後の正極格子断面の観察結果を示す。アイドリングストップ車でもなく、後述の充電制御システム車でもない従来の車両で実車試験をおこなった電池では、一般的な過充電モードでの粒界腐食が観察された。一方、アイドリングストップ車両で3年間、実車試験を実施した改良形VRLA電池の正極格子を観察すると、過充電モードでの粒界腐食ではなく、

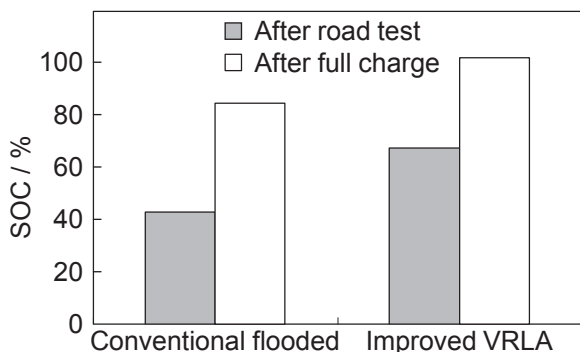


Fig. 11 Comparison of SOC of conventional flooded lead-acid battery and improved VRLA battery after two-month road test.

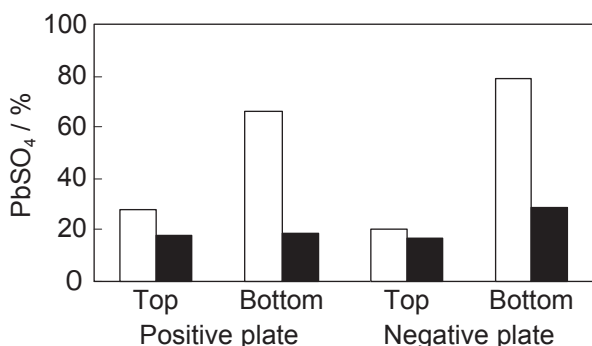


Fig. 12 Accumulated PbSO₄ in plates of conventional flooded lead-acid battery (□) and improved VRLA battery (■) after two-month road test.

全体が層状に均一に腐食している様子が見られた¹⁹⁾。これは、PSOCで使用され、正極板が高い電位にさらされる機会が少なかったためと考えられる。

これまでに発売されたアイドリングストップ乗用車はわずかであるが、その車種と電池を Table 1 に示す²⁰⁻²²⁾。電池には開放形鉛電池の他、VRLA 電池、Liイオン電池が使用されている。

なお、2006年12月に、電池工業会で「アイドリングストップ車用鉛蓄電池」の形式、スペック、試験方法などが制定された²³⁾。今後、増加が予想されるアイドリングストップ車両に対しては、電池業界をあげて対応に努力をしているところである。

2.4 充電制御システム車

燃費を改善するために、減速時にはオルタネータの発電電圧を高くして電池への充電量を増やし、一方、定常走行時、加速走行時や停止時には電池から電力を持ち出してエンジンの負荷を減らすという技術が搭載されている車を充電制御システム車と呼ぶ。近年、カー

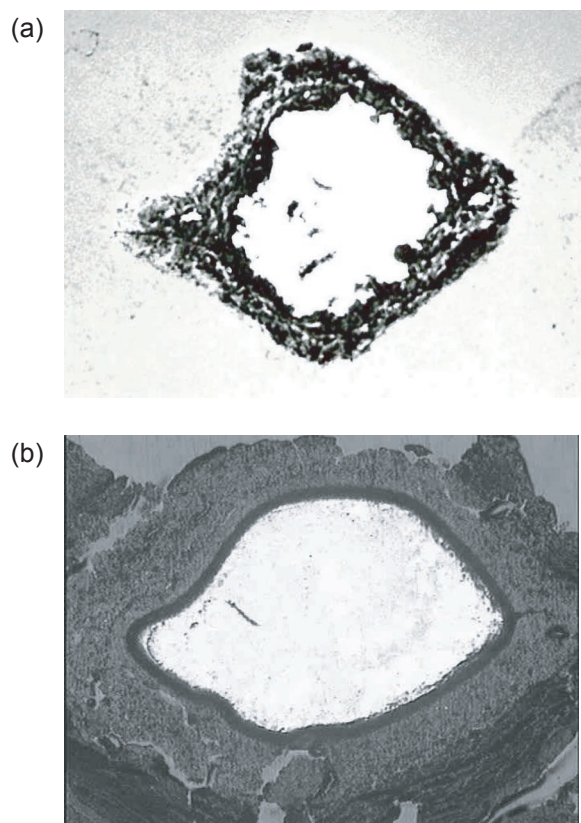


Fig. 13 Representative photographs of cross section of positive plates (cast grid) used in automobiles: (a) without idling stop system or charge control system and (b) with idling stop system.

Table 1 Applied batteries to various car types with idling stop system.

Car	Battery type
Toyota Crown Comfort	Flooded lead-acid
Toyota Vitz U	Flooded lead-acid and Li-ion
PSA C3	VRLA
Daihatsu Mira Smart Drive Package	Flooded lead-acid

メーカー各社からこのシステムを搭載した車両が数多く販売されているが、充電制御システム車で燃費をさらに改善することのできる開放形電池が商品化された²⁴⁾ (Fig. 14)。本電池は、正・負極活物質の密度や添加剤の改善によって充電受入性能を改善し (Fig. 15)、その結果、従来の鉛電池搭載時に比べ、2%以上燃費改善ができる (Fig. 16)。

3 国内補修用鉛電池市場での製品動向

3.1 スマートバッテリー

JAFによれば、路上トラブルの最も多いのがバッ



Fig. 14 External appearance of newly developed flooded lead-acid battery for improving fuel economy of automobiles with charge control system.

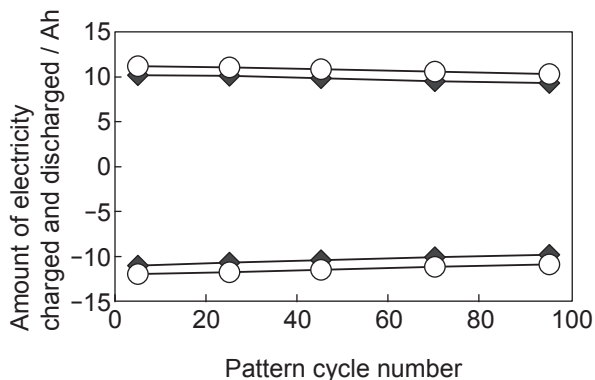


Fig. 15 Transition of amount of electricity charged and discharged for new lead-acid battery (O) and conventional one (◆) during simulated controlled voltage pattern test.

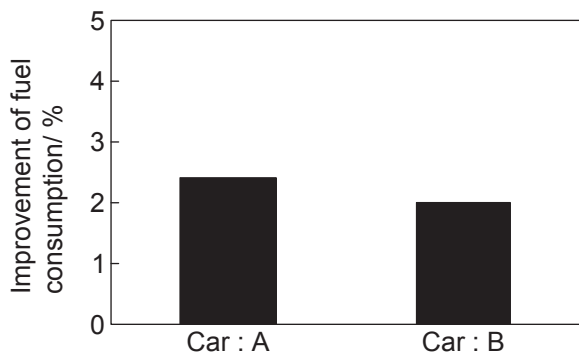


Fig. 16 Improvement of fuel consumption by advanced flooded lead-acid battery capable of higher charge acceptance for vehicles with charge control system at 10·15 mode test.

テリートラブルであり、2006年度では約33%にまで

のぼっている²⁵⁾。そこで路上トラブルを未然に防ぐため、電池が自らの状態を診断し、ドライバーに「要交換」、「要充電」、「要

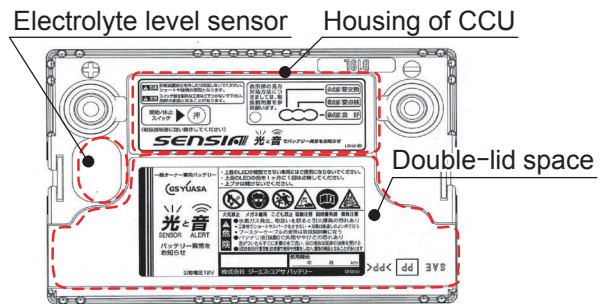


Fig. 17 External appearance and top view of newly developed automotive lead-acid battery "SENSIA".

補水」等の警告を光や音で知らせる、いわゆるスマートバッテリーが発売されている²⁶⁻²⁸⁾ (Fig. 17)。今後、電池メーカーによるコストダウンが進むにつれて販売量が増加していくものと予想される。

なお、電池にセンサを内蔵させたもの以外にも、外付けのセンサ単体で販売されているものもある²⁹⁾。

今後、電池メーカーによるコストダウンが進むにつれて販売量が増加していくものと予想される。

4 次世代高性能鉛電池の開発動向

4.1 グラファイトテクノロジー

本技術は、集電体に発泡グラファイトを使用したもので、活物質利用率を大幅に改善できる、と発表されている³⁰⁾。

4.2 バイポーラ電極技術

バイポーラ電極とは、電極の片面に正極活物質が塗布され、裏面には負極活物質を塗布された、1枚の電極で正極・負極両方の機能がある電極をいう。

HEVでは多数の電池を使用するため、電池の信頼性の向上が必要である。従来の鉛電池では、鉛合金の溶接にてセル間の接続をおこなってきたが、バイポーラ電極を用いれば、電極自体にセル間接続の機能があるために、セル間接続が不要であり、より信頼性が向上すると考えられる^{31,32)}。

5 まとめ

自動車用鉛電池は、従来のエンジン始動、灯火および点火という役割に加え、各種電装品への電力供給源としての役割が重要になるに止まらず、エンジンの負荷を低減するために積極的に放電される傾向にあり、PSOC状態での使用環境がより一層厳しくなっている。このような「燃費」改善の動向と同期して、鉛電池においても、充電受け入れ性能の改善や耐久性の改善などが進んでいる。また、環境対応車においては鉛電池の役割は従来以上に重要になってくるので、スマートバッテリー化も進んでいくと思われる。

今後も、自動車技術の変化にあわせて、鉛電池の分野でも新たな技術の開発を続けていく所存である。

文 献

- 1) Ministry of Economy, Trade and Industry, Website, <http://www.meti.go.jp/press/20060531004/20060531004.html>.
- 2) 日本における自動車燃料シナリオフォーラム, p39, 2007年春季大会, 自動車技術会.
- 3) Prime Ministry of Japan and His Cabinet, Website, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/2002/0319ondanka_s.html.
- 4) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Website, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/09/090702_.html.
- 5) The European Union, Website, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/155&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>.
- 6) THE WHITE HOUSE, THOMAS (The Library of Congress), Website, <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2007/12/20071219-6.html>. <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/F?c110:10:/temp/~c110JjCG0ie24923>.
- 7) The Nikkan Jidosha Shimbun, February 5th, 2008.
- 8) M. Anderman, *Proceedings of the Seventh International Advanced Automotive Battery & Ultracapacitor Conference*, Long Beach, California (2007).
- 9) Yano Research Institute, Press Release, February 14th, 2007.
- 10) T. Koike, T. Hayashi, N. Higa, K. Nishida, and M. Tsubota, *GS News Technical Report (Currently GS Yuasa Technical Report)*, **54** (2), 6 (1995).
- 11) S. Takeshima, T. Kourakata, T. Matsumoto, H. Shimizu, and S. Yabuki, *FB Technical News*, (60), 13 (2004).
- 12) K. Yamanaka, K. Hata, T. Noda, N. Fujimoto, K. Yamaguchi, and M. Tsubota, *GS News Technical Report (Currently GS Yuasa Technical Report)*, **60** (2), 8 (2001).
- 13) N. Hoshihara, K. Ando, Y. Yoshihara, A. Hirao, T. Kajikawa, K. Shimoda, and K. Sugie, *Matsushita Technical Journal*, **48** (4), 21 (2002).
- 14) K. Nakamura, M. Shiomi, K. Takahashi, and M. Tsubota, *J. Power Sources*, **59**, 153 (1996).
- 15) M. Adachi, Y. Okada, M. Shiomi, and M. Tsubota, *GS News Technical Report (Currently GS Yuasa Technical Report)*, **57** (1), 10 (1998).
- 16) T. Ohara, T. Noda, K. Hata, K. Yamanaka, K. Yamaguchi, and M. Tsubota, *Proceedings of the second International Advanced Automotive Battery Conference*, Las Vegas, Nevada (2002).
- 17) GS Yuasa Corporation, Website <http://www.gs-yuasa.com/jp/>. <http://gyb.gs-yuasa.com/product/carbattery/work.html>.
- 18) The Energy Conservation Center, Japan, Website <http://www.eccj.or.jp/idstop/caravan02/data.html>.
- 19) K. Sawai, T. Ohmae, H. Suwaki, M. Shiomi, and S. Osumi, *GS Yuasa Technical Report*, **4** (1), 14 (2007).
- 20) TOYOTA MOTOR CORPORATION, Website, <http://toyota.jp/crowncomfot/dynamism/engine/index.html>. http://www.toyota.co.jp/jp/special/k_forum/tenji/19.html.
- 21) CITROEN, Website, http://www.citroen.com/CWW/en-US/NEWS/NEWSRELEASES/Archives/NewsReleases/200506/29032005_C3stt.htm.
- 22) DAIHATSU MOTOR CO., LTD, Website, <http://www.daihatsu.co.jp/lineup/mira/env/index.htm>.
- 23) Battery Association of Japan, SBA S0101, Lead-acid batteries for vehicles with idling stop system.
- 24) T. Takeuchi, K. Sawai, T. Matsumura, T. Imamura, S. Ishimoto, and S. Osumi, *GS Yuasa Technical Report*, **4** (1), 22 (2007).

- 25) JAF (JAPAN AUTOMOBILE FEDERATION), Website. <http://www.jaf.or.jp/rservice/index.htm>.
- 26) M.Kiribayashi, W.Mashiko, M.Maeda, K.Nakamura, T. Imamura, S. Ishimoto, and S. Osumi, *GS Yuasa Technical Report*, **3** (2), 34 (2006).
- 27) S. Takeshima, R. Shirakawa, H. Taguchi, A. Seo, H. Oouchi, T. Mizuno, T. Gotou, and S. Yabuki, *FB Technical News*, (59), 15 (2003).
- 28) K. Yamada, Y. Machiyama, K. Otsu, Y. Kuroda, M. Konishi, and A. Sagisaka, *Shin-Kobe Technical Report*, (15), 18 (2005).
- 29) Panasonic Storage Battery Co., Ltd, Website, http://panasonic.co.jp/mbi/psb/products/carbattery/lineup/pdf/bc_wink.pdf.
- 30) Firefly Energy, Inc., Website, <http://www.fireflyenergy.com/>.
- 31) Effpower AB, Website, <http://www.effpower.com/>.
- 32) Atraverda, Website, <http://www.atraverda.com/>.