

自動車用鉛蓄電池の技術動向

Trends of lead-acid battery technology for automotive applications

シニアフェロー 博士(理工学)

Senior Fellow, Dr. of Sci. & Eng.

古川 淳

Jun Furukawa



要旨

ブルガリア科学アカデミーは鉛蓄電池の科学と技術の発展に顕著な貢献が認められた科学者に、数年に一度、ガストン・プランテ・メダルを授与している。筆者はUltraBatteryの開発と実用化などの功績により、2017年のメダル受賞者となった。本総説では、自動車用鉛蓄電池の歴史と筆者が見た自動車用途としての現状、並びに今後の技術動向について述べる。

Abstract

Since 1989, the Bulgarian Academy of Science awarded every few years to scientists who have made significant contributions to the development of lead-acid battery technology. Author won 2017 Gaston Plante Medal to contribution for "Development and practical use of the UltraBattery". In this paper, regarding the lead-acid battery for automotive applications, the author describes history, current status, and future trends of the technology.

1. ガストン・プランテ・メダル受賞報告

ガストン・プランテ・メダルは鉛蓄電池を発明したフランスの科学者であり発明家でもある、ガストン・プランテ (Raymond-Louis-Gaston Plante, 1834-1889) の名にちなんで設けられた賞である。初めはプランテの母国フランスで1950年代に創設されたが、プランテの没後100年を記念して、1989年にブルガリア科学アカデミーが賞を引き継いだとされる¹⁾。それ以前は広く電気化学分野で功績の認められた人に賞を授与したが、ブルガリア科学アカデミーは鉛蓄電池の科学と技術の発展に顕著な貢献が認められた科学者に、数年に一度、最近は3年に一度、賞を授与している。これまでに14名と1団体が受賞しているが、受賞者にはDr. E. Voss、Prof. D. Pavlov、Dr. N. Bagshaw、Mr. J. DevittやDr. D. Prengamanなど現代の鉛蓄電池の礎を築いた方々が名を連ねている。UltraBatteryの発明者であるDr. L. T. Lamは2011年の受賞者である。そして筆

者は、UltraBatteryの開発と実用化をはじめ、アイドリングストップ車用鉛蓄電池とサルフェーション抑制添加剤、正極格子用Ba添加Pb-Ca-Sn合金などの開発と実用化、並びに42Vシステム車用36V制御弁式鉛蓄電池とサーマルマネジメント技術、バッテリー・キャパシタモジュール、パンチング基板用Pb-Ca-Sn合金圧延条の製造法、電気バス用鉛蓄電池などの開発の功績により、2017年ガストン・プランテ・メダルを受賞し、歴代の受賞者と名前を連ねる栄誉を得た。授賞式の写真を図1に、受賞講演の写真を図2に示す。この受賞は、筆者の研究成果を辛抱強く待って頂いた古河電池・徳山会長、小野社長はじめ会社幹部各位、地道な研究開発活動に付き合ってくれた同僚と部下の皆さん、Dr. Lamら社外の協力者、研究に助言をいただいた青山学院大学名誉教授・松本修先生や元いわき明星大学教授・安野拓也先生ら恩師、そして家族の理解のおかげであり、関係者の皆様に心から感謝したい。



図1 授賞式の筆者
Fig.1 The author in the Medal Ceremony



図2 受賞講演をする筆者
Fig.2 The author gave his award lecture

2. 自動車用鉛蓄電池の歩み

鉛蓄電池は優れた実用性により、発明から150年以上を経た現在も自動車用はもちろん、産業用としても非常用電源や電動フォークリフトトラックなどの電動車両分野で広く用いられ、さらに太陽光発電など再生可能エネルギーを利用したマイクログリッドの負荷平準化や系統連携のための蓄電など、地球温暖化防止に向けた取り組みでも利用が期待されている。特に自動車用は、エンジンルーム内の高温環境における耐久性、低温始動性能、低コストにより不動の地位を得てきた。

鉛蓄電池は1859年にプランテによって発明された最初の二次電池である。それ以前は1800年にボ

ルタ電池や1836年にダニエル電池が発明されているが、いずれも一次電池であった。また、発電機が発明されたのは1880年頃といわれており、それまで鉛蓄電池の充電は一次電池を用いて行なわれていた。1881年に現在の鉛蓄電池の製造方法の基礎となるペースト式電極が発明され、鉛蓄電池は大容量で高出力の二次電池として、鉄道の客室内の照明用や電信・電話設備のバックアップ用として使用されるようになった²⁾。そして1900年に登場した電気自動車の電源としても使用された。一方、内燃機関を用いた自動車に鉛蓄電池が使用されるようになったのは1910年頃であり、電気自動車よりも10年ほど後のことである。この頃の自動車は電気装置が少なく、電気負荷は照明装置 (Lighting system) と点火装置 (Ignition system) だけであった。一般大衆向けの自動車に始動装置 (Starting system) が使われ始めたのは1920年頃からである。しかし、その後も自動車の電気負荷は始動装置、照明装置と点火装置程度であったため、自動車電源電圧は現在の半分の7V (バッテリー電圧は6V) であり、自動車用鉛蓄電池はこれら負荷の頭文字を取ってSLIバッテリーと呼ばれた³⁾。1950年代になると電気負荷の増大に伴い自動車電源電圧は現在の14V (バッテリー電圧は12V) に引き上げられた⁴⁾。国内では高度成長時代に当たる1955年から1975年の20年間に自動車は急速に普及し、これに合わせて自動車用鉛蓄電池の生産も拡大した。一方、自動車は安全性・快適性・利便性・経済性の追求に伴い電気装置の数とそれによる電気負荷を急速に増大させ、例えば窓の開閉やミラーの調整、スライドドアの開閉など100個を越えるといわれるモータ類、オーディオビジュアル装置、ナビゲーションシステムなどのボデー系電気装置に加え、電動パワーステアリングや電動油圧式ブレーキ、さらにはアイドリングストップシステムなどシャシやパワートレイン系装備へも電動化は拡大した。このような電気負荷増大の流れの中で、欧州の高級車を中心に電力供給の不足が顕在化し、自動車電源電圧の42V化 (バッテリー電圧は36V) が叫ばれるようになった。そして、1996年に米国ではマサチューセッツ工科大学 (MIT) が主宰するMITコ

自動車用鉛蓄電池の技術動向

ンソーシアムが活動を本格化し、肥大化が見込まれるワイヤハーネス質量の削減とあいまって、42V化に向けた取り組みが始まった。そして2001年には、トヨタが世界初の42V適用車であるトヨタ・クラウンマイルドハイブリッドを発売した⁴⁾。一方、オルタネータの技術改良の進展が発電能力を大幅に向上し⁵⁾、電力供給不足に端を発した42V化の要請は後退した。しかし、自動車電源電圧は14VのままDC/DCコンバータを利用した部分昇圧が普通車の電動パワーステアリングに採用されるなど、自動車電源のマルチ電圧化が進んでいる。

これと並行して地球温暖化抑制の取り組みが広がりを見せる中、欧州連合は自動車が出す二酸化炭素の削減目標を定め、自動車メーカーに達成を求めた。これがきっかけとなり、欧州では2007年頃からアイドリングストップ車の普及が本格化した。アイドリングストップ車は頻繁にエンジンの停止と始動を繰り返し、エンジンを停止している間はバッテリーから電力を供給するため、欧州では充放電に対する耐久性の優れた制御弁式鉛蓄電池が用いられた。これに対し日本では、耐久性を大幅に改善した改良液式鉛蓄電池を開発し、2009年に欧州向けのトヨタ・オーリスで実用化された。改良液式鉛蓄電池は制御弁式鉛蓄電池よりも価格が安く、高温のエンジンルームにも搭載できるため、日本ではほぼ全てのアイドリングストップ車で採用され、2012年頃から生産が急速に拡大した。その後、欧州でも改良液式鉛蓄電池の採用が小型車を中心に拡大し、現在は制御弁式と改良液式鉛蓄電池の採用比率は同程度と見られる。

低燃費で注目されるトヨタ・プリウスなどのハイブリッド車は、当初高電圧の主電源に高性能ニッケル・水素電池を採用していたが、その後発売されたホンダ・フィットハイブリッドなどはより高性能で軽量なりチウムイオン電池を採用している。しかし、ハイブリッド車は補機用電源として12Vの鉛蓄電池を搭載し、数々の電子制御装置やナビゲーションシステム、オーディオビジュアル装置などのボデー系電気装置、さらに暗電流による電気負荷を鉛蓄電池が負担している。

このように、鉛蓄電池は従来車やアイドリングストップ車はもちろん、補機用電源としては先進自動車の代表であるハイブリッド車、次世代車といわれるプラグイン・ハイブリッド車や電気自動車、さらに燃料電池車も鉛蓄電池を使用しており、鉛蓄電池を搭載していない自動車は見当たらない。

3. 自動車用途としての現状

(1) 電気自動車用鉛蓄電池

電気自動車は内燃機関を用いた自動車よりも10年早い1900年頃発明され、当時から鉛蓄電池が用いられていた。日本における電気自動車用鉛蓄電池の本格的な開発は、1971年の通産省による大型プロジェクトから始まり、ニッケル・水素電池やリチウムイオン電池の可能性が広く認知される2000年頃まで、鉛蓄電池は電気自動車用電池の主役として改良が続けられたが、現在はリチウムイオン電池にその座を明け渡している。しかし、新興国では安価で製造が容易な鉛蓄電池の使用が根強く支持され、特に中国ではe-バイクと呼ばれる電動機付き自転車の生産がここ数年で年間2,000万台以上へと爆発的に拡大し、総生産台数も1億台に達すると見られている。e-バイクに用いる鉛蓄電池は、UPS用途で普及した12V-20Ahクラスの制御弁式鉛蓄電池に充放電サイクル使用向けの改良を加えたもので、これを4個直列につなぎ48Vで使用している。しかし、現地で生産される鉛蓄電池は耐久性が劣り、寿命は6ヶ月程度といわれている。e-バイクの普及は東南アジアやインドでも始まっており、ハイエンドのe-スクーターと呼ばれる大型の二輪電気自動車も登場している。インドでは二酸化炭素の排出抑制策として電気自動車の導入を加速しており、乗用車よりも圧倒的に台数の多い二輪自動車やオートリクシャーと呼ばれる三輪タクシーの電気自動車化に力を入れている(図3)。インド政府はリチウムイオン電池の採用を推進しているが、価格が安く入手が容易な鉛蓄電池が広く用いられている。



図3 三輪タクシー、オートリクシャー
Fig.3 Autorickshaw, a three wheel taxi

(2) アイドリングストップ車用鉛蓄電池

二酸化炭素の排出抑制や燃費向上を目的に、停車時にエンジンを停止させる機能を有する車をアイドリングストップ車と呼んでいる。また、更なる燃費向上を目的に、アイドリングストップ機能に加え、制動エネルギー回生による充電機能を備えた車も増えている。これらの自動車電源は14V (バッテリーは12V) である。アイドリングストップ車は2007年以降欧州で生産が拡大し、2015年には欧州新車1,500万台の70%以上を占めたといわれる。日本では2011年から欧州を上回る勢いで拡大が始まり、2015年には新車の65%に達した。今後この動きは米国ほか、インドやタイなどアジアの新興国や南米にも波及し、2020年には世界で生産される乗用車の50%以上がアイドリングストップ車になると予想され、アイドリングストップ車用鉛蓄電池が自動車用鉛電池の主流になりつつある⁶⁾。

アイドリングストップ車用鉛蓄電池は、アイドリングストップ中の電気負荷をバッテリーから供給するため、深い放電に対する耐久性が要求される。また、エンジン再始動には大電流放電が必要であり、その信頼性を確保するため低く安定した内部抵抗が求められる。さらに、放電した電力を速やかに回復するため、優れた充電受入性が求められる。深い放電と内部抵抗については、正極の活物質密度の増加と新たな添加剤による正極活物質の充放電サイクル耐久性の改善やシミュレーションによる格子の電位分布の最適化が行なわれている。また、鉛蓄電池の充電受入性は負極の性能に支配されるため、負極に

添加する導電カーボンの増量などの改良が施されている。その結果、アイドリングストップ車用鉛蓄電池は、アイドリングストップ寿命試験⁷⁾で目標の3万サイクルの2倍に相当する6万サイクルを達成している^{8)~10)}。また、制動エネルギー回生による充電を効率良く受け入れるため、鉛蓄電池のSOC (State of Charge : 充電状態) を90%以下に下げたPSOC (Partial State of Charge : 部分充電状態) で運用される。そのため、負極サルフェーションの抑制が重要となる。この対策として、ある種の添加剤は負極の硫酸鉛の結晶を不規則化し、充電されやすい状態を維持する効果があるため、広く実用化されている¹⁰⁾。

(3) キャパシタハイブリッド型鉛蓄電池^{11)~15)}

キャパシタハイブリッド型鉛蓄電池「UltraBattery」は、鉛蓄電池とスーパーキャパシタを極板レベルでハイブリッド化している。そのため、アイドリングストップ車ではアイドリングストップ時間の延長や制動エネルギー回生機能の向上が可能である。SOCを80%前後に下げたPSOC (部分充電状態) で運用してもサルフェーションが起これないため、従来の鉛蓄電池では難しいとされた過酷な使用条件への適用が進んでいる。UltraBatteryの構成を図4に示す。UltraBatteryは鉛蓄電池と非対称キャパシタを同一セル内に組み込んでいる。非対称キャパシタは、正極は鉛蓄電池の正極と同じ二酸化鉛であるが、負極はカーボンである。鉛蓄電池の負極表面にカーボン電極を形成して正極とともに同一のセル内に入れることにより、カーボン電極は鉛蓄電池の負極と負荷を分担できる。2013年4月に交換用として販売を開始したアイドリングストップ車用液式UltraBatteryを図5に示す。2013年11月からホンダ・オデッセイアブソルート、2015年4月からはホンダ・ステップワゴンなど新車への搭載も進んでいる。

また、ホンダ・シビックハイブリッドのニッケル・水素電池パックを168VのUltraBatteryパックに置き換え、米アリゾナ州フェニックスの高温下で行なわれた実車搭載試験では、自らの世界記録を塗り替

自動車用鉛蓄電池の技術動向

える15万マイル (24万km) の走行を達成した。以上のように、UltraBatteryはアイドリングストップ車を始め、これまでの鉛蓄電池では適用が難しいとされた高電圧のハイブリッド車でも使用が可能である。

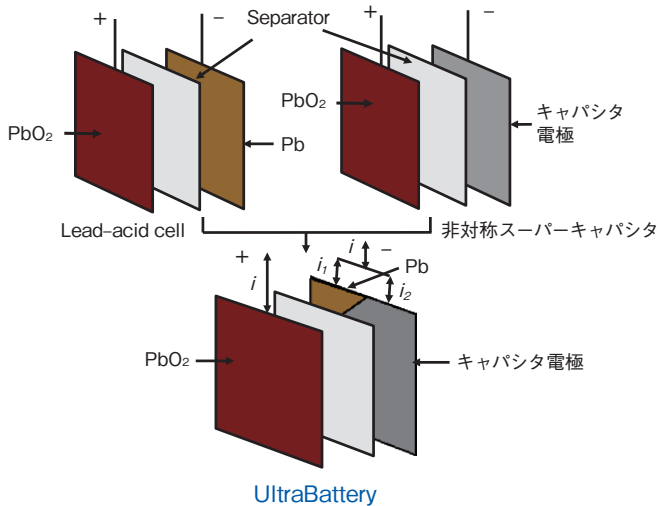


図4 UltraBatteryの構成
Fig. 4 Configuration of the UltraBattery



図5 ECHNO IS UltraBatteryの外観
Fig. 5 Appearance of ECHNO IS UltraBattery

(4) 鉛蓄電池の状態検知

アイドリングストップ車やマイクロ・ハイブリッド車ではエンジン停止後の再始動を保証する観点から、鉛蓄電池のSOCに加え、SOH (劣化状態: State of Health) の検知が求められている。また、回生ブレーキによるエネルギーの回収は、鉛蓄電池を充電効率と放電性能のバランスの取れたSOCに制御する必要がある。このようにSOCとSOHの検知は、新しい自動車用途には必須であり、古河AS社や独ボッシュ社が状態検知センサーを商品化している。

4. 今後の技術動向

(1) 先進諸国

日本、米国、欧州などの先進諸国では、次世代自動車技術として電動化と自動運転に注目が集まっている。

電動化の目的は二酸化炭素の排出抑制に加え、軽量化、利便性・快適性の向上などであるが、自動車としてはプラグイン・ハイブリッド車や電気自動車など、主に電動機で駆動する環境対応車への移行を意味する。これらは駆動用電源としてリチウムイオン電池を用いるが、補機用電源としては鉛蓄電池が用いられている。しかし、電動化の進行に伴い、自動車は何らかの理由で電源失陥に陥った場合への対応の必要性が増してくる。そのため、駆動用電源、補機用電源とは別にバックアップ用電源として信頼性を高めた鉛蓄電池を使用することが検討されている。

一方、自動運転の目的は自動車事故の撲滅であるが、自動運転車がICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) でつながることにより、ライドシェアなどの新サービスが普及し、運輸事情が大きく変化すると見られている。自動運転技術の進歩は目を見張るものがあるが、自動運転で求められる電源の議論は、センサー用を除き、まだ始まったばかりのようである。

(2) 新興国

アジア地域のインド、タイや南米のブラジルは、自動車の普及と二酸化炭素の排出抑制が同時並行で進んでいる。また、国ごとにさまざまなインセンティブが設けられている。インドは2016年に人口が13億人に達し、間もなく中国を追い抜く見込みであるが、自動車販売台数は380万台と2,800万台の中国とは大きな開きがある。これは、世帯所得が自動車の購入が可能な上位中間層以上の人口が中国の半分以下であることも理由の一つと考えられるが、2020年には1,000万台に達するという予測がある。このような状況の中で、インド政府は二酸化炭素の排出抑制のため、FAME (Faster Adoption and

Manufacturing of Hybrid and Electric vehicles in India) programでリチウムイオン電池を用いた電気自動車の購入に対し、税の優遇や補助金などのインセンティブを定めている。しかし、インド国内でリチウムイオン電池の生産は行なわれておらず、大半は中国からの輸入品であるため、効果は限定的と見られる。一方、2017年からCAFE (Corporate Average Fuel Efficiency) 規制の導入が検討されており、2021年には先進国並みの二酸化炭素排出量である113g/kmが乗用車の目標値となる見込みである。そのため、自動車メーカー各社は出荷台数の多い車種の燃費向上が急務であり、アイドリングストップ車の導入比率は早い段階で先進国並みになると見られる。ここでは、アイドリングストップ車用鉛蓄電池やキャパシタハイブリッド型鉛蓄電池と状態検知センサーが用いられる。このような動きはタイ、ブラジルを始め世界各国で始まっている。

5. まとめ

鉛蓄電池はリチウムイオン電池と比較して、質量当たりのエネルギー密度や出力密度は低いが、低コスト、安全性、使用条件に対する性能のロバスト性、入手の容易性、並びに質量の95%以上という高いリサイクル性を生かすとともに、自動車の燃費向上につながる充電受入性や耐久性を改善し、今後の自動車市場においても採用を広げて行くことが期待される。

参考文献

- 1) K. Desmond: Innovators in Battery Technology, p. 167, McFarland & Company, Inc. (2016)
- 2) 中村良治:「鉛二次電池」, 日刊工業新聞社 (1984)
- 3) Y. Miyake and A. Kozawa: Rechargeable Batteries in Japan, JEC Press Inc. (1977)
- 4) 電気学会・42V電源化調査専門委員会編:「自動車電源の42V化技術」, オーム社 (2003)
- 5) 電気学会・自動車用電源システムマネジメント調査専門委員会編:「自動車用電源システムマネジメント技術」 (2008)

- 6) Eckhard Karden, 7th Advanced Automotive Battery Conference in Europe, Maintz (2017)
- 7) 電池工業会規格:SBA S 0101, アイドリングストップ車用鉛蓄電池 (2014)
- 8) J. Furukawa, T. Takada, 12th Asian Battery Conference, Shanghai (2007)
- 9) 高田利通, 門馬大輔, 古川淳, FBテクニカルニュース, No. 62, p. 15 (2006)
- 10) 高田利通, 古川淳, FBテクニカルニュース, No. 64, p. 43 (2008)
- 11) L. T. Lam, R. Louey, J. Power Sources, Vol. 158, p. 1140 (2006)
- 12) L. T. Lam, R. Louey, N. P. Haigh, O. V. Lim, D. G. Vella, C. G. Phyland, L. H. Vu, J. Furukawa, T. Takada, D. Monma, T. Kano, J. Power Sources, Vol. 174, p. 16 (2007)
- 13) J. Furukawa, T. Takada, D. Monma, L. T. Lam, J. Power Sources, Vol. 195, p. 1241 (2010)
- 14) 佐藤和義, 柴田智史, 赤阪有一, 本間徳則, 古川淳, FBテクニカルニュース, No.71, p. 28 (2015)
- 15) 荻野由涼, 西村章宏, 竹本嵩清, 本間徳則, 古川淳, FBテクニカルニュース, No.72, p. 28 (2016)

著者略歴

古川 淳 (古河電池株式会社 シニア・フェロー)

経歴

- 1957年生
 1980年 古河電池株式会社入社
 2009年 同社技術開発本部 開発第一部長
 2012年 同社経営戦略企画室 UB (UltraBattery) 事業化部長
 2014年 博士 (理工学) 学位取得
 同年 同社シニア・フェロー 経営戦略企画室 UB 事業化部長
 2016年 同社シニア・フェロー 技術開発本部 UB 事業統括部長

受賞歴など

- 2009年 電気化学会「技術賞・棚橋賞」受賞
 2012年 Battery International誌 Battery Heroes 選出
 2015年 イオン交換学会「技術賞」受賞
 同年 書籍 Innovators in Battery Technology - Profiles of 93 Influential Electrochemist 掲載
 2017年 ブルガリア科学アカデミー「ガストン・ブランテ・メダル」受賞

趣味 テニス