

電池の長期使用を実現する電池診断技術 — 充電曲線解析法の有用性とその適用性

Battery Inspection Technology Employing Charging Curve Analysis for Long-Term Use of Lithium-Ion Batteries and Its Applicability

星野 昌幸 小野 修史 本多 啓三

■ HOSHINO Masayuki ■ ONO Shuji ■ HONDA Keizoh

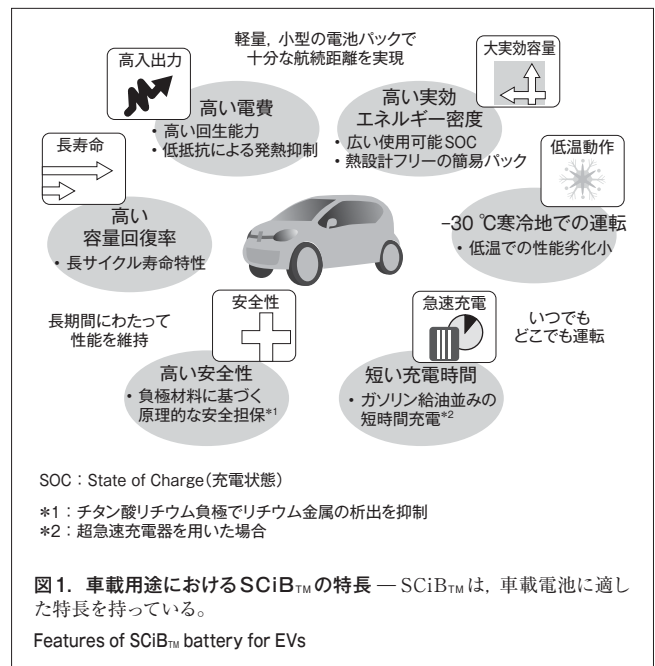
東芝は、電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド車 (PHEV)、定置用蓄電システムなどに搭載されたリチウムイオン電池の健全性を見える化する電池診断技術として、充電曲線解析法を開発した。この電池診断技術を適用することによって、EV 搭載の電池などが実使用において健全であるかどうかを容易に判断できるようになり、リチウムイオン電池の長期使用の信頼性が向上する。充電曲線解析法は実使用中の電池健全性の評価手法として優れた適用性があることから、長期使用が想定される EV や PHEV、定置用蓄電システムなどの普及、更には中古 EV 市場の醸成や、電池のレンタル、リユースなどの関連ビジネス展開が促進される。

A charging curve analysis technology developed by Toshiba is a battery inspection technology to calculate the cell performance of lithium-ion batteries installed in electric vehicles (EVs), plug-in hybrid vehicles (PHEVs), and stationary battery energy storage systems. This technology makes it possible to easily visualize the health of batteries actually used in EVs and other products and to improve the reliability of batteries in long-term use. It is expected to accelerate the dissemination of products for long-term use including EVs, PHEVs, and stationary battery energy storage systems, as well as the creation of used EV and PHEV markets and the development of rental and reuse businesses for lithium-ion batteries.

1 まえがき

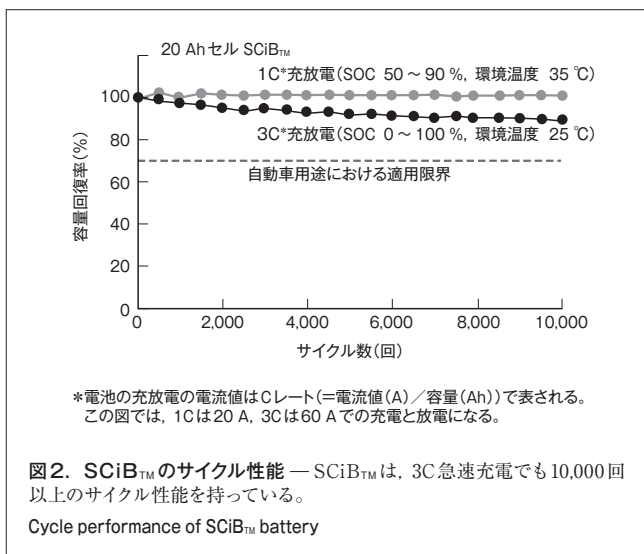
リチウムイオン電池が搭載された電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド車 (PHEV) が、量産車として販売されている。また、リチウムイオン電池を搭載した定置用蓄電システムも販売が開始され、BEMS (Building Energy Management System) などの電力調整用途での実証試験が行われている。EV や PHEV、定置用蓄電システムなどには高い信頼性が求められるため、当然ながら搭載されるリチウムイオン電池にも高信頼性が要求される¹⁾。EV を含めた自動車は、法定点検や自動車検査登録制度 (車検) により、整備不良の車両が公道を走行しないように運用されている。また自動車を転売する際にも車両査定を行い、車両状態に適合した価格で売買が行われている。更にビル施設では、支障なくビル運用ができるように定期的な保守点検が行われている。一方、リチウムイオン電池は、使用期間や使用条件などにより電池の内部状態が変化し、容量劣化などに至ることが知られている。

そこで、EV や PHEV の車検や転売時の査定、及び定置用蓄電システムの保守点検では、搭載されているリチウムイオン電池の健全性を診断する技術が必要になる。ここでは、電池診断技術として東芝が開発した充電曲線解析法の特長と各種用途への適用性について述べる。



2 電池診断技術の必要性と適用要件

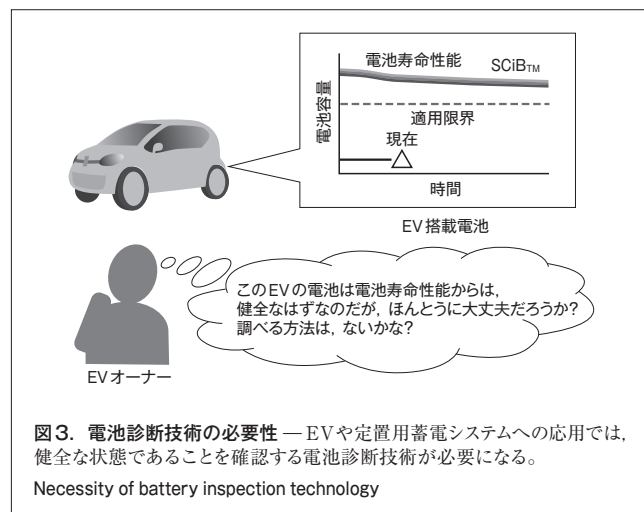
EV や PHEV、定置用蓄電システムなどに搭載される電池には、高い性能と信頼性が要求される。例えば、車載用途における当社製二次電池SCiB™の特長を図1に示す。EV や PHEV に求められる高信頼性に応えるため、特に寿命性能については、急速充電でも10,000回を超えるサイクル性能を持つ



ており(図2)、安心してユーザーが使用できるように配慮されている。したがって、自動車の平均使用年数が約12年であることを考えると、1日当たり1回充電する場合EVやPHEVが廃車されるまで電池を交換することなく使い続けられる計算になる。同様に、この長寿命性能は10年以上の製品寿命が求められる定置用蓄電システムでも重要な特性である。

図2に示すように電池の寿命性能は、環境温度や、使用SOC(State of Charge)範囲、充放電電流などによって変化する。そこで、EVやPHEV、定置用蓄電システムなどに搭載される電池は、長期間にわたって、予期しない要因により機能不全にならないように健全性が確保されなければならない。これは、これまで小型民生用リチウムイオン電池が使用されてきた携帯電話やパソコンのように、電池容量の劣化によって連続使用時間が短くなり、使用者が不便と感じたときに電池を交換すればよかった場合は大きく異なる。

そこで電池に期待される機能が維持され、健全な状態であることを確認する電池診断技術が必要になる(図3)。車載電池の内部状態を診断する技術の候補として、各種の電池劣化評価方法を表1に示す。ここでいう電池診断技術は、実用性



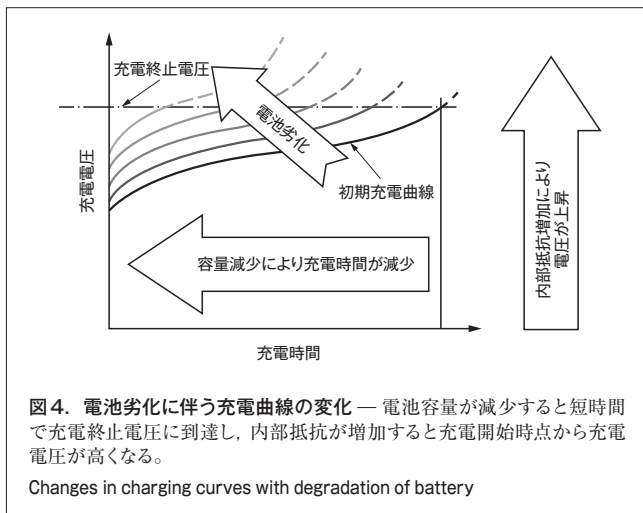
を備えていることが重要である。例えば、電池診断の装置が高価であると、その電池診断技術の普及は難しくなる。また、電池診断に専用の車載装置が必要な場合にも、実施費用は全体として大きくなってしまふ。電池診断のために車両を走行させる時間を含めて、電池診断に必要な時間が長い場合にも、実施困難になる。更に、電池診断の対象が車載電池の全セルのうちの一部である場合、診断されなかったセルが将来障害を引き起こす可能性を否定できない。

これらのことから、車載電池に適用する電池診断技術の要件としては、次の点がある。

- (1) 車載計測器や専用の充放電装置を必要としない
- (2) 評価のために車両の走行を必要としない
- (3) 評価時間が実用範囲である
- (4) 対象となる全てのセルを評価できる

表1のうち、交流インピーダンス法と放電曲線解析法は、学術分野における電池劣化評価手法として認知された方法である。交流インピーダンス法は市場で使われているEV用充電器では交流の充放電ができず、放電曲線解析法は測定時間が掛かりすぎるなど、適用性に課題がある。また、電池使用履歴のデータベース構築は自動車メーカーが実車両で検証を進

名称(仮称を含む)	電池使用履歴のデータベース構築	交流インピーダンス法	放電曲線解析法	充電曲線解析法
運用の主体	自動車メーカー	電池研究者	電池研究者	東芝
目的	車載電池の劣化把握	セル研究	セル研究	車載電池の残存性能評価
測定原理	EV搭載電池の環境条件と、充電や放電などの使用条件を劣化計測データとして網羅的に扱い、各電池の使用履歴から劣化状態を評価する。	周波数を変えて測定した交流インピーダンスの実数部と虚数部のグラフから、電池各部位の抵抗を求め、抵抗変化から電池劣化を評価する。	放電曲線を電圧で微分するなどにより特徴づけて、各活物質の容量変化を抽出する。	充電時のセル電圧変化(充電曲線)に対し、開回路電圧に基づき、各活物質の容量と内部抵抗値を変数とした帰帰計算を行い、容量と抵抗を求める。
車載電池診断への適用性	ビッグデータに含まれるEV走行履歴情報には個人情報が含まれ開示が困難なため、公開を前提とした電池評価指標には適さない。	電池セル材料ごとの情報に基づいて、劣化成分を解析する必要があるため、現在のところ研究用に限定される。	車両では一定電流放電は困難なため、小電流放電を行う専用の測定装置が必要になる。	通常EVで用いる充電器による定電流充電(普通充電と急速充電ともに適用可能)で、その場で計測できる。



めているが、ビッグデータに含まれる個人情報の取扱いを含めて、データの公開性に課題が残る。

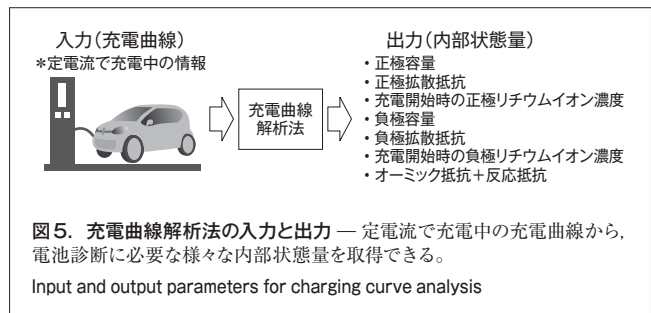
そこで当社は、新たに充電曲線解析法を開発し実用化を目指している。図4に示すように、充電曲線解析法は、電池容量の低下や内部抵抗の上昇が充電曲線の変化として現れることに着目した評価方法である。充電曲線解析法の詳細は、この号のp.54-57で述べる。

このような車載電池の電池診断技術における適用要件は、定置用蓄電システムにも共通する。例えば、BEMSのような産業用途に用いられる定置用蓄電システムの電池診断において、特別な装置なしに健全性を定量評価できることは利便性をおおいに高める。蓄電システムの信頼性を高めるためには、定期的な点検の実施が必要である。すなわち、現在正常に機能している装置を点検し、蓄電システムの性能劣化や故障予兆がないかを調べ、もし見つかった場合には適切に対応することによって、次回の点検までの間、装置が正常に機能する信頼性を高めることが重要である。

3 充電曲線解析法による電池の健全性評価

点検に用いられる電池診断技術には、電池の性能劣化や故障予兆を見いだすことが望まれる。電池の電気化学的な特性は、電池の内部状態によって変わるので、この内部状態を知ることが必要になる。

充電曲線解析法の入力と出力を図5に示す。図5の出力に示した電池内部状態の各情報が得られれば、電池に関する様々な診断が行える。例えば、電池容量が同じように減少している場合でも、内部状態は正極容量の減少や、負極容量の減少、正極と負極の充電バランスのずれ、拡散抵抗や反応抵抗の上昇などで、それぞれ異なる。そして、内部状態の違いにより、その後の電池容量の減少の度合いも違ってくる。したがって、電池の内部状態がわかることで、電池の機能不全に



対する尤度(ゆうど)を正しく判断することができる。

また、充電開始時の正極リチウムイオン濃度と負極リチウムイオン濃度からは、充電開始時のセルの充電状態を求めることができる。すなわち、充電開始時の全セルの充電状態が得られる。これは、リチウムイオン電池の制御で重要なセル間のばらつきについて、各セルの充電状態の調整が適切に行われているかを診断できる。

このような充電曲線解析法において、電池診断に必要な入力は、図5に示す充電曲線情報だけである。一方、定置用蓄電システムでは、EVやPHEVのように日常的に定電流充電されることはないが、点検時に充電曲線取得のための定電流充電モードを導入することで適用可能である。充電曲線情報は電池の状態情報そのものであり、電池がどのように使われたかという個人情報や、どのように制御されているかといった電池搭載機器に関連する情報は含まれていない。このため、充電曲線解析法は公開性を持っている。また、充電曲線はリチウムイオン電池を制御しているBMS (Battery Management System) そのものによって測定可能である。これらの特徴から、様々な用途で使われている電池診断を行うことができる。例えば、次の利用シーンが考えられる。

- (1) EVの定期点検や車検への適用
- (2) 車載電池の残存性能の確認によるV2H (Vehicle to Home) への適用
- (3) EV運用ビジネスにおける再リースやレンタルの判断
- (4) 定置用蓄電システムの健全性確認

このうち(2)については、スマートコミュニティ技術の一つとして、家庭用蓄電システムなどを設置して家庭で電力調整する仕組みであるHEMS (Home Energy Management System) が検討されている。一般に個人が所有するEVは、自宅に駐車されている時間が長いので、車載電池をHEMS用の電池として使用することが検討されている。この場合、EVは走行のためだけではなく、EVから家庭へ電力を供給するV2H機能が期待されている。V2Hは車載電池の活用範囲を広げる仕組みであるが、EVオーナーが利用するにはEVの走行可能距離などEV本来の性能に影響がないことが前提である。EVオーナーが今回開発した電池診断技術により車載電池の健全性を確認できれば、安心してV2Hを行うことができる。これ

によりV2HというEVの付加価値がいつそう高まると考えられる。

このような利用シーンでの電池診断結果(健全性)がユーザーによりWeb上で公開され、SCiB™などの長寿命電池が実際の用途で健全に使われていることが広く知られるようになれば、EVや定置用蓄電システムの普及促進にも貢献できる。

4 充電曲線解析法のEV転売への適用と実証評価

次にEVの普及促進の要となるEV転売への充電曲線解析法の適用性、すなわち、車載電池の残存性能評価に適用した場合を図6に示す。通常、自動車の転売においては実車査定により買取り価格が決定される。実車査定では総走行距離や車種、事故履歴などにより評価されるが、EVにおいては電池の残存性能も重要な査定項目になると考えられる。充電曲線解析法による電池診断では、実車査定時にその場で計測して取得した充電曲線情報を使って電池状態を診断できるため、データ改ざんの懸念はなく、EVの転売取引に用いる電池診断法として適している。充電曲線解析法により車載電池の性能診断を行えば、EVについてもガソリン車と同様に合理的な実車査定が行え、EV転売取引が活性化される。車載電池の残存性能が把握できると、近い将来、例えば2年後の電池容量確率分布の推定も可能になり⁽²⁾、転売時の保証リスク評価も可能になる。

電池診断技術として開発した充電曲線解析法は、現在自動車メーカーの協力を得て、実証試験を行っている⁽³⁾。全国各地の自動車ディーラーに保有されているSCiB™を搭載したEVについて、様々な充電器や温度環境に対して充電曲線情報を継続的に取得し、充電曲線解析法の適応性について検証中である。そして、これまでに充電曲線解析法を用いた解析結果から、実際にEVに搭載されて使用されているSCiB™の電池

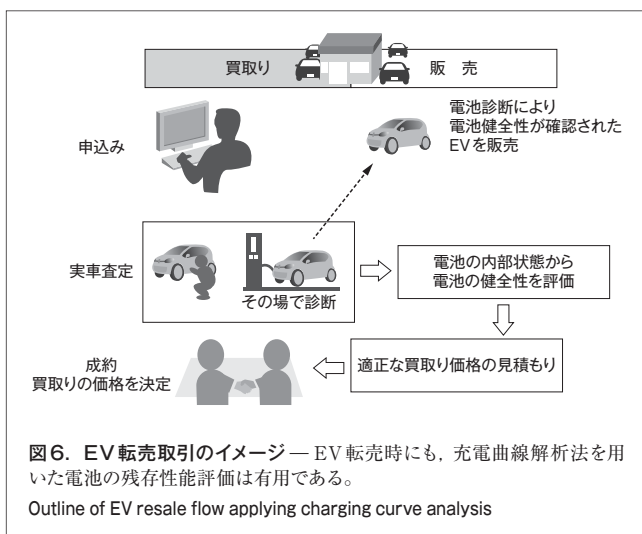


図6. EV転売取引のイメージ—EV転売時にも、充電曲線解析法を用いた電池の残存性能評価は有用である。

Outline of EV resale flow applying charging curve analysis

容量変化は極めて小さいこともわかってきている。

5 あとがき

EVやPHEV、定置用蓄電システムなどでは、長寿命性能を含む電池の信頼性が重要である。電池の信頼性は、実際に使われている電池が電池診断で健全性が確認されてこそ醸成されていく。

当社は、電池診断技術として充電曲線解析法を開発し、自動車メーカーや定置用蓄電システムメーカーには保守点検や残存性能評価に必要なツールを、また各ユーザーには健全な状態で電池を使っているという安心感、特にEVユーザーにはガソリン車と同じように売買できる安心感を、更にEVや蓄電システムのリースやレンタルなどの事業者には新たなサービス機会を創出するメリットを提供することを目指している。長寿命性能を持つSCiB™と電池性能を見える化する電池診断技術により、EVやPHEV、定置用蓄電システムなどの普及促進に寄与していきたい。

文献

- (1) 本多啓三 他. リチウムイオン電池SCiBの特徴と車載電池性能. 自動車技術. 66, 9, 2012, p.23-27.
- (2) 江澤 徹 他. “車載蓄電池の残存価値評価手法の考案”. 平成25年電気学会産業応用部門大会. 山口, 2013-08, 電気学会, 2013, 論文番号4-12.
- (3) 本多啓三. “車載電池の残存性能評価技術によって広がるEV/PHEV利用市場の展望”. EV/HEV Commercialisation Japan 2013. 東京, 2013-07.



星野 昌幸 HOSHINO Masayuki, D.Eng.

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 eドライブシステム技術部参事, 工博. 電池診断技術の開発に従事。電気学会会員。

Railway & Automotive Systems Div.



小野 修史 ONO Shuji

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 eドライブシステム技術部主務. SCiB車載関連(電動車両)事業に従事。

Railway & Automotive Systems Div.



本多 啓三 HONDA Keizoh, D.Eng.

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 自動車システム統括部技監, 工博. SCiBの市場開拓と利用技術開発に従事。溶接学会会員。

Railway & Automotive Systems Div.