

EV 用バッテリーシステムの開発

Development of Battery System for EV

姉 川 彰 博*

Akihiro ANEKAWA

山 本 康 一*

Koichi YAMAMOTO

要 旨

コンパクト性、高耐久性をねらいとしてEV用バッテリーシステムを開発した。動力源としてのバッテリーには、耐久性や回生特性に優れた東芝製リチウムイオンバッテリーSCiBを採用した。車両が求める走行レンジに必要なエネルギー量のバッテリーを最密距離で接続し、耐環境性に優れたシール構造を有するバッテリーボックス内に収納した。FIT EVの居住性を損なうことなくコンパクトに床下に設置するために、冷却のためのバッテリーファンや高圧電気安全デバイスとともにバッテリーシステムを構成した。バッテリーシステムの耐久性を検証したところ、バッテリー自身の優れた耐久性に加えて、冷却システムの効果により車両の運用期間に渡り、高いレベルを維持していることを確認した。

ABSTRACT

A battery system for EV use has been developed with the aim of realizing compactness and high durability.

The system employs Toshiba SCiB lithium-ion batteries, which display good durability and power regeneration characteristics, as the power source. Sufficient numbers of batteries to provide the energy necessary for the driving range demanded for the vehicle have been connected in a densely packed configuration and fitted in a battery box case employing a seal structure providing good environmental resistance. Together with battery fans for cooling and high-voltage safety devices, this comprises a battery system designed to be installed compactly under the floor of the vehicle without sacrificing the interior comfort of the FIT EV. In addition to demonstrating that the batteries themselves displayed good durability, verification of the durability of the battery system indicated that the cooling system helped to ensure the maintenance of a high level of performance over the entire period of vehicle use.

1. まえがき

Hondaは化石エネルギー枯渇と地球環境保護への対応の一つとして車両電動化の技術開発を進め、魅力ある商品提案をおこなってきた。2012年夏に米国と日本にてリース販売を開始したFIT EVは、ナンバーワンの電費(燃費)性能(EPA認可値 リース販売開始時)を達成するとともに、3モードドライブによる運転する楽しさも合わせて提案するEVである。これを支えるのは100 kWの高出力と20 kWhの容量を有するバッテリーシステムであり、床下に高密度パッケージで搭載されFIT EVの高い居住性に貢献している。また、冷却システムを備えることでより高い耐久性をも確保しており、使用期間に渡ってお客様の使い勝手や安心感を向上させている。本稿では、FIT EVのバッテリー

システムについて、ベースとなるバッテリーの特性とそれを踏まえたバッテリー冷却の考え方と構造およびバッテリーシステムの耐久性について述べる。

2. 開発のねらい

EVの動力源はバッテリーであるため、航続距離を向上させると一般的に必要なバッテリーの搭載量も多くなる。これにともないバッテリーの占める容積や重量も大きくなる。FIT EVのベース車両であるFITは、コンパクトなボデーながら高い居住性に好評を得ている。この優れた点を損なわないよう、必要なエネルギーを確保しながらもシステムの小型化に重きをおいて開発をおこなう必要がある。

また、EVに見られる多数のバッテリーを接続して成る

*四輪R&Dセンター

バッテリーシステムは、車両運用期間において車両性能を維持することが必要である。バッテリーの搭載数が多いEVにおいては、使用環境の違いがバッテリーの特性変化の違いにつながる。特性変化は、バッテリーの温度、State of Charge (SOC)、通電電流等の因子から影響を受ける。バッテリーの温度は、特性変化に影響を与える因子の一つであるが、バッテリー温度はバッテリーシステム内で異なる分布を持つため、バッテリーの特性に差が生じることになる。バッテリーの発熱特性とバッテリー単体の温度に対する性能変化を踏まえた上で、多数のバッテリーを一律な温度環境下に置くことを可能とする冷却システムは車両性能を維持する上で重要なデバイスである。

EV 用バッテリーシステム開発に際して以下の2点を主要なねらいとした。

- (1) 優れた居住性に寄与するバッテリーレイアウト
- (2) 高い耐久性を維持するバッテリーシステム

3. システムの構成と性能

3.1. 冷却システムの構造と性能

冷却システムを設定する上で、米国の温度環境や交通インフラ状況、日本での急速充電のニーズ、バッテリーの温度に対して影響を与える因子に対して、特に配慮をおこなった。FIT EV 搭載のバッテリーシステムは、床下に配置され、外気を冷却風として用いている。このため走行時には駆動系からの排熱の影響 (Fig. 1) を受ける。駐車時には路面からのふく射熱の影響 (Fig. 2) も受ける。また、屋外放置時には日射による車室内の温度上昇に伴いバッテリーシステムも熱影響 (Fig. 3) を受ける。搭載バッテリー数が HEV に比べて

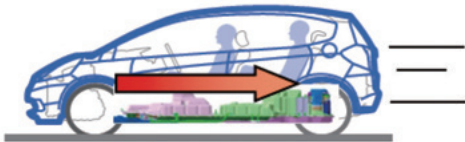


Fig. 1 Influence of exhaust heat during vehicle operation



Fig. 2 Influence of radiant heat from road

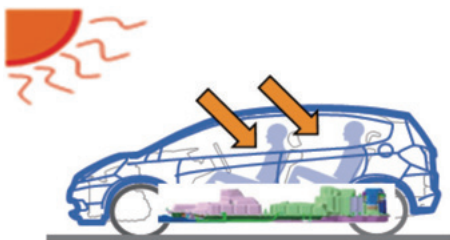


Fig. 3 Influence of sunlight when vehicle is parked

多いEVでは、これらの影響を踏まえて冷却システムを構築する必要がある。

バッテリーの冷却手法に対し、直接冷却と間接冷却の二つの方法が候補として挙げられる。直接冷却は、外気を用いた冷却風がバッテリーボックスケース内を流れ、バッテリーに当たり、直接熱交換をおこなう。間接冷却は、バッテリーの熱がバッテリー下部面から伝熱部材およびバッテリーボックスケースに伝わり、二重構造であるバッテリーボックスケース内を通過する冷却風と熱交換をおこなう。直接冷却の方がバッテリーの冷却能力は高いが、直接冷却は導入された外気に含まれる異物や塵埃や水分が、バッテリーの接続部に侵入することの防止が必須となる。FIT EVでは、ユーザーの使いにおけるバッテリーの発熱量の確認結果をもとに防塵や防水構造の無いコンパクトなバッテリーボックス構造が可能となる間接冷却を採用した。

間接冷却での冷却構造を Fig. 4 に示す。セル下部とバッテリーボックスケースの間には伝熱部材が設置され、バッテリーの発熱を効果的にバッテリーボックスケースへと伝える。二重構造であるバッテリーボックスケース内に設置された冷却風通路には、冷却面積を増加させ、冷却風の流れによりバッテリー温度がボックスケース全体で均一となるようにフィン状のガイドを設置した。二つのバッテリーファンにより導入された冷却風は、バッテリーボックスケース内の冷却通路を通過する際に、バッテリーと間接的に熱交換をおこなう。

冷却構造の設定においては、すべてのバッテリーに対して効率よく冷却をおこない、バッテリーの温度を所定の範囲内に収めることが可能な構造とするためにシミュレーションを繰り返しておこなった。Fig. 5 にバッテリーボックスケース内の冷却風の流れの様子を示す。冷却風は熱交換を伴いながらバッテリーボックスケース内を通過する。Fig. 6 にバッテリーシステムの冷却能力の検証結果を冷却無しの場合との比較で示す。冷却システムを持たない場合、走行と充電を繰り返した場合には温度上昇が抑制できず、バッテリーの耐久性確保のための上限温度を超えてしまう。一方で、冷却システムを備えたバッテリーシステムでは、バッテリー温度の上昇は抑制され、上限温度を超えることが無いため、

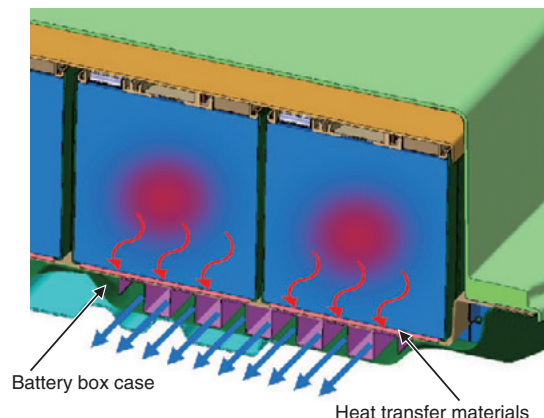


Fig. 4 Indirect cooling configuration

車両のパワーセーブも無く、継続した運用が可能である。

3.2. バッテリーレイアウト

SCiB は平均電圧が一般的なりチウムイオンバッテリーよりも低いため、高電圧化し、必要なエネルギーを確保するには多くのセル数を必要とする。このため、多くの SCiB を組み合わせたバッテリーシステムの容積は、一般的なりチウムイオンバッテリーのシステムの容積に対し、相対的に大きくなる。一方で、ベースとなる FIT の優れた居住性を損なうことなくバッテリーシステムを車両内に配置することも重要であり、ここにおいて最密なバッテリーレイアウトを検討する必要がある。バッテリーシステムの基本コンポーネントであるバッテリーモジュールの部分概要図を Fig. 7 に示す。間接冷却の採用により、セル間に冷却風を通す空間を設ける必要が無いため、モジュールにおけるセル間はセパレー

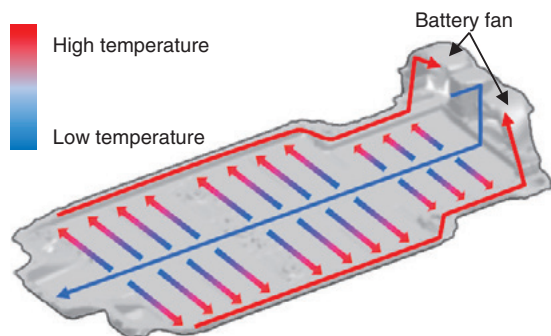


Fig. 5 Cooling air flow in battery box case

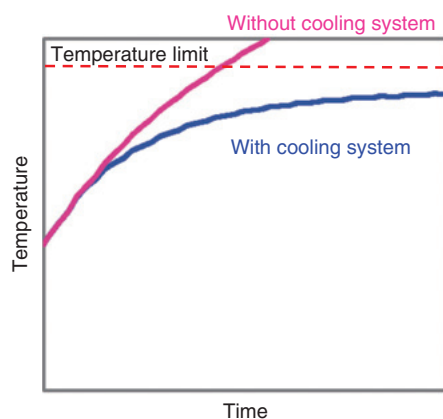


Fig. 6 Results of cooling tests

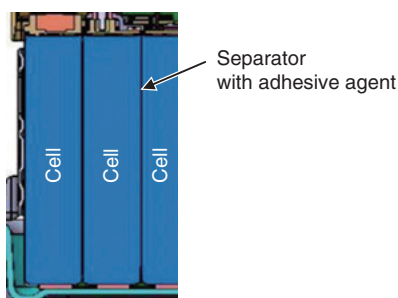


Fig. 7 Structure of battery module connection (Overview)

タを介して接着接合されており、モジュールとしての強度を確保するとともに最密な構造を成立させている。これにより、バッテリーレイアウトと優れた居住性を両立することができた。

3.3. チタン酸リチウム (LTO) 系バッテリーの特徴

一般的なりチウムイオンバッテリーは、正極に金属酸化物、負極に炭素材を活性物質として用いている。一方、今回 FIT EV で採用した SCiB は、正極に金属酸化物を用いているところは、一般的なりチウムイオンバッテリーと同じであるが、負極に LTO を活性物質として用いている点が特徴である。電極活性物質としての LTO の熱安定性の評価結果として、負極材料の Li 吸蔵時の電解液との示差熱分析結果を Fig. 8 に示す⁽¹⁾。参考文献(1)におけるグラフにハードカーボンの結果を加えている。グラフ縦軸は、電解液との反応熱量を表している。リチウムイオン電池で用いられる黒鉛は、240℃ 付近に高い発熱ピークを示しているが、LTO は発生熱量が黒鉛の 1/10 以下であり、またリチウムイオンバッテリーの負極材として用いられているハードカーボンよりも発生熱量が小さいので、高い熱安定性を有している。

次に、一般的なりチウムイオンバッテリーの電位特性を Fig. 9 に、SCiB の電位特性を Fig. 10 に示す。

一般的なりチウムイオンバッテリーの負極は、充電時に 0 V 付近まで電位が低下するのに対し、SCiB は充電時も負極の電位が約 1.5 V で一定である。このため、SCiB の平均電圧は 2.3 V となり、一般的なりチウムイオンバッテリーの平均電圧である 3.6 V に対し低い。ところで、負極電位がリチウム析出電位近傍まで低下すると負極上にリチウム金属が析出する場合がある。リチウム金属析出はリチウムデンドライト (針状結晶) 発生の要因となり、バッテリーの可逆容量や耐久性の低下につながる。一般的なりチウムイオンバッテリーは、リチウム金属析出を避けるため、満充電時、特に低温時では、バッテリー電圧の細かなコントロールが要求されたり、満充電ができない、あるいは満充電に時間がかかる等の課題が発生する。一方、SCiB はリチウム金属析出電位近傍まで負極電位が低下することは無い。このた

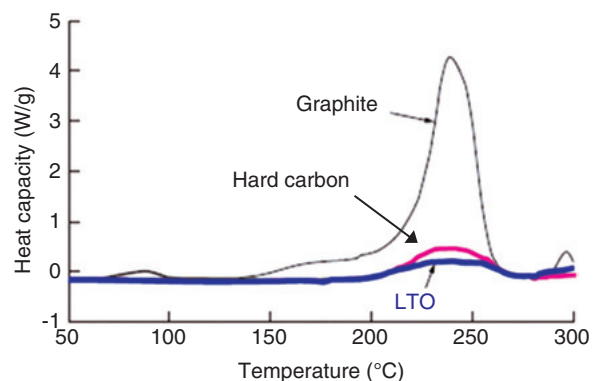


Fig. 8 Reaction heat capacity of cathode material with electrolyte during Li occlusion

め、リチウム金属析出が起こらず、可逆容量の維持や耐久性の向上につながる。

3.4. SCiB 性能

Fig. 11 に -10°C における各種バッテリーの各 SOC における回生受け入れ性を示す。SCiB は高い回生受け入れ性を有することがわかる。

SCiB は一般的なりチウムイオンバッテリーに対して、優れた耐久性を持つことが報告されている⁽¹⁾が、SOC や温

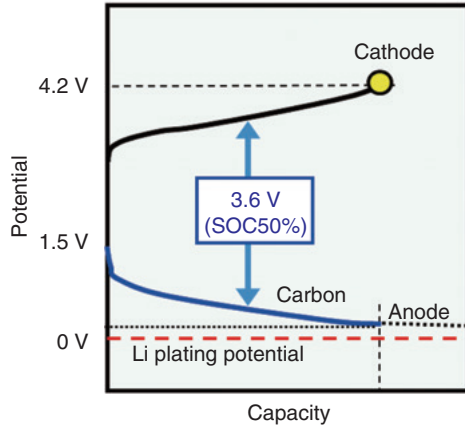


Fig. 9 Potential characteristics (Typical lithium-ion battery)

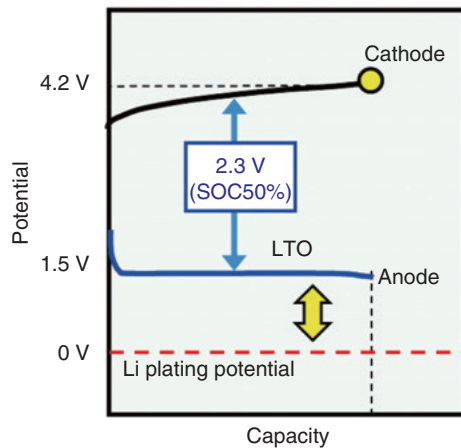


Fig. 10 Potential characteristics (SCiB)

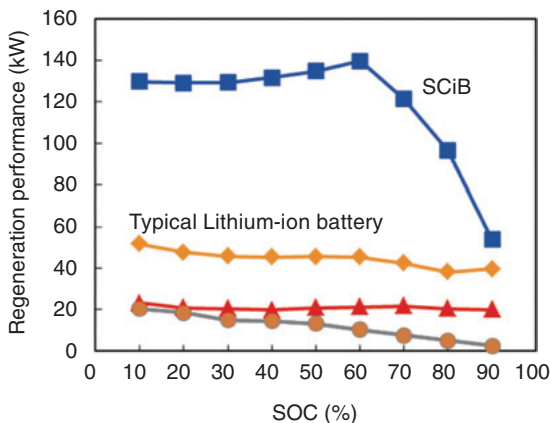


Fig. 11 Regeneration performance (-10°C)

度の影響で容量の低下や抵抗の上昇といった性能低下が発生する。代表例として、Fig. 12 に温度を 2 水準設定して抵抗の変化をテスト確認した結果を示す。45 $^{\circ}\text{C}$ の方が抵抗上昇が大きいことが確認できた。温度が高いほど、性能低下が大きくなるのは、一般的なりチウムイオンバッテリーと同じである。また、SCiB の性能変化は、一般的なりチウムイオンバッテリーと同様に時間の 1/2 乗則⁽²⁾を用いることで整理可能である。

Fig. 12 のテスト結果に対して時間の 1/2 乗則で整理した結果を Fig. 13 に示す。時間の 1/2 乗に対し、抵抗の増加は直線性を示すことを確認した。直線の傾きからそれぞれの温度における抵抗の性能変化係数が得られる。同様にして、バッテリー単体に対し車両の使い方を踏まえ、充放電サイクル時と放置時における容量と抵抗の性能変化のテスト結果から算出された性能変化係数を Fig. 14 に示す。SCiB は放置時よりも充放電時(車両走行時)に性能変化が大きいことがわかった。このような性能変化の把握から、SCiB に適した使用範囲を設定した。

また、サイクルテストや放置テスト結果から得られた性能低下係数を基に車両運用中の SCiB の性能変化が推定できる。さまざまなユーザーの使い方に対する SCiB の性能変化を推定し、検証することが可能である。さらにユーザーの使い方に対して負荷の大きな条件設定をすることで加速試験が可能である。

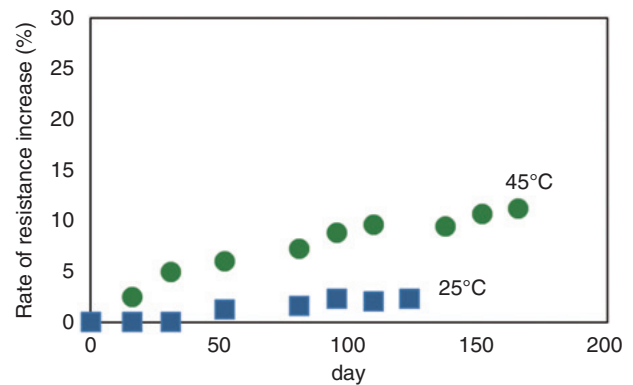


Fig. 12 Change in resistance

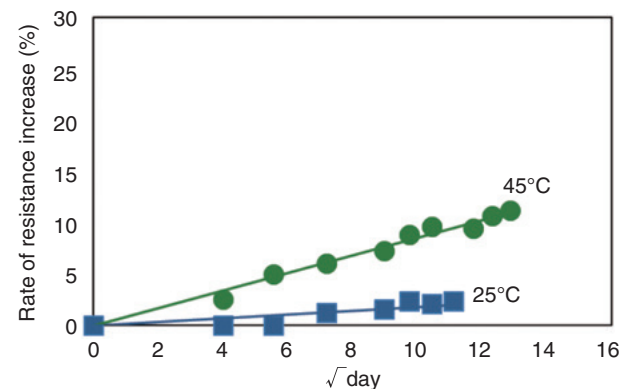


Fig. 13 Change in resistance

3.5. バッテリーシステム耐久性

EV 用バッテリーシステムの開発においては、EV が使われる地域の温度環境、交通や充電インフラ等の状況を踏まえ、バッテリーの耐久性を十分に検証しなければならない。これまでのテスト結果から温度がバッテリーの性能変化に影響を与えることが確認できたので、バッテリー発熱への配慮は必要である。HEV と異なり EV は、動力源がバッテリーのみであるため、車速が高くなるほどバッテリーからの通電電流も多くなり、バッテリーの発熱も大きくなる (Fig. 15)。ハイウェイでの走行を含めたユーザの使い方における平均車速と通電電流の分布を基に、ユーザ使用条件を網羅できる車速を設定し、発熱負荷として EV の耐久テストをおこなった。

EV の耐久テスト結果を Fig. 16 および Fig. 17 に一般的なりチウムイオンバッテリーの結果と合わせて示す。

耐久性に優れた SCiB を採用したことと冷却システムがバッテリーの温度をコントロールしていることの効果がテスト結果にあらわれている。車両運用期間における性能変化は一般的なりチウムイオンバッテリーに対し、容量で 1/5 および抵抗で 1/2 程度であり、航続距離に与える影響を大きく抑えることができた。また、抵抗上昇も FIT EV の動力性能を損なわないレベルであることも確認できた。

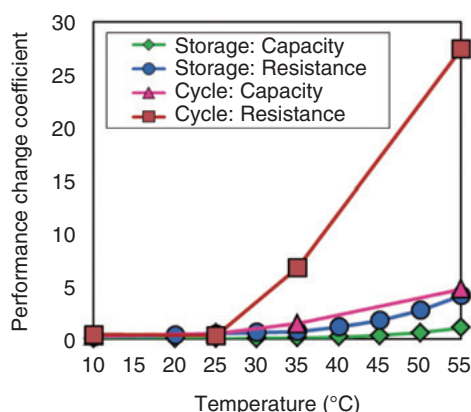


Fig. 14 Performance change coefficients (Storage, cycle)

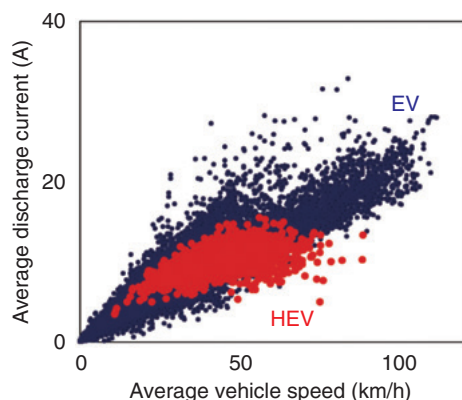


Fig. 15 Correlation between vehicle speed and battery discharge current

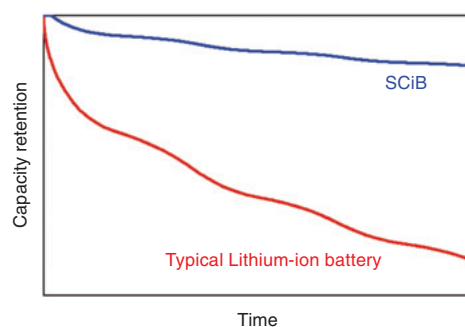


Fig. 16 Results of durability tests (Capacity)

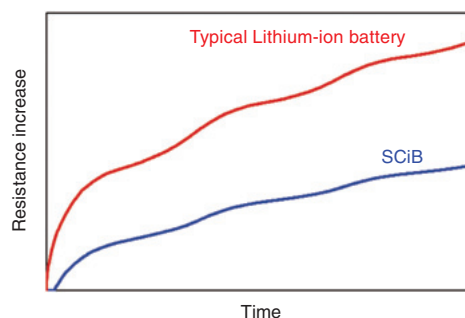


Fig. 17 Results of durability tests (Resistance)

4. まとめ

FIT EV 向けに EV 用バッテリーシステムを開発した。コンパクト化のために最密なモジュール構造としたバッテリーシステムは、床下に配置され、FIT EV の優れた居住性に貢献している。間接冷却を採用したバッテリーシステムは、すべてのバッテリーに対して効率良く冷却をおこなうことが可能であり、走行と充電の繰り返しにおいてもバッテリー温度の上昇を抑制できることを確認した。SCiB 自身の高い耐久性に加え、冷却システムの採用によって、航続距離の低下につながるバッテリーの性能変化が少ない、高い耐久性をもつバッテリーシステムを車両運用期間に渡って提供できることを実現した。

参考文献

- (1) 小杉伸一郎, 稲垣浩貴, 高見則雄: 安全性に優れた新型二次電池 SCiB_{TM}, 東芝レビュー, Vol.63, No.2, p.54-57 (2008)
- (2) 山本康一, 姉川彰博: 燃料電池自動車用リチウムイオン電池システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.1, p.40-45

著者



姉川 彰博



山本 康一