

HEV用新型二次電池 SCiB™ 電池パック

New Compact, Lightweight, and Resource-Saving SCiB™ Rechargeable Battery Pack for HEV Application

小杉 伸一郎 高見 則雄 本多 啓三

■ KOSUGI Shinichiro ■ TAKAMI Norio ■ HONDA Keizoh

東芝が開発したハイブリッド自動車 (HEV: Hybrid Electric Vehicle) 用新型二次電池 SCiB™ は、内部短絡しても熱暴走に至らない本質的な安全性を備え、過充電又は過放電領域での電圧変化が大きく電池の異常も容易に検出できる。また、充電率 (SOC: State of Charge) の広い範囲で高い入出力が得られ、有効エネルギー量も大きい。

これらの特長を生かして、セルの電圧監視をする専用ICを搭載した保護回路と、既存製品を大幅に上回る有効エネルギー密度及び出力密度を特長とする、SCiB™ 電池パックを開発し、その優位性を検証した。

Toshiba has developed the SCiB™ battery for hybrid electric vehicle (HEV) application featuring high intrinsic safety with a slower reaction rate in the event of an internal short circuit. Furthermore, the SCiB™ exhibits a steep voltage gradient in the initial stage of the over-discharge or overcharge regions, allowing easy detection of unsafe states. It also has larger available energy with high input and output power capabilities over a wide state-of-charge (SOC) range.

Based on these features of the SCiB™, we have developed and confirmed the effectiveness of a new SCiB™ battery pack for HEV application providing superior available energy density with high power capabilities, and incorporating protection circuit boards with a newly developed application-specific integrated circuit (ASIC).

1 まえがき

燃費低減により炭酸ガス排出量を削減できるハイブリッド自動車 (HEV) への期待が高まっており、小型・軽量化が可能なりチウム (Li) イオン電池 (LIB) の市場投入が待たれている。ところが LIB は、エネルギー密度が高い反面、内部短絡などを引き金として急激な温度上昇を伴う熱暴走が引き起こされる可能性があり、安全性が課題となっている。電池が熱暴走状態に陥ると、300℃を超える温度上昇、ガス噴出、更には発煙や発火などに至ることも確認されている。この内部短絡現象は、外部からの測定では予見が困難なため、車載用 LIB

では内部短絡に対する安全性の確保が重要視されてきた。

東芝は、この内部短絡にかかわる電池制御と安全性の課題を解決した新型二次電池 SCiB™ を製品化し、2008年3月から本格的な量産を開始した^{(1), (2)}。また、高い安全技術を基本として、更に高出力特性と耐久長寿命性能を付加した HEV 用 SCiB™ を開発した⁽³⁾。HEV 用 SCiB™ セルの主な仕様を表 1 に示す。

2 パック化を前提としたセル設計

乗用車の場合、一般に電池パックはトランクルームや後席の下部など、車室に隣接した場所に設置される。設置スペースが限られているため電池パックの小型化が重要課題となる。LIBセルに使うことができる外装には角型缶、円筒缶、及びラミネートフィルムの3種がある。これらの電池セル構造の得失比較を表 2 に示す。

円筒缶は、一次電池を含めもっとも一般的に使われている形状である。構造的に強く実績も多いが、車載用パックに適用する場合、スペース効率及び冷却効率に難がある。例えば円筒缶を並べた場合、円筒缶間に不要なすき間ができるため、スペース効率を高められない。

ラミネートフィルムは、アルミニウム (以下、アルミと略記) 箔膜をポリプロピレン (PP)、ポリエチレンテレフタレート (PET) などの外装フィルムで挟みこんだ構造で、防湿性やガスバリア性

表1. HEV用 SCiB™ セルの主な仕様
Specifications of SCiB™ cell for HEV application

項目	仕様
形状	角型缶
公称電圧	2.5 V
動作電圧	1.7~2.9 V
10秒間出力電力	500 W
10秒間回生電力	540 W
放電容量	3.3 Ah
交流インピーダンス	1.7 mΩ
直流抵抗	2.5 mΩ
質量	156 g
サイズ	62(幅)×95(高さ)×13(厚さ)mm

表2. 電池セル構造の得失比較

Trade-off of cell structure

外装	メリット	デメリット
角型缶	<ul style="list-style-type: none"> スペース効率と冷却効率が低い 封止構造の長期信頼性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ラミネートフィルムより重い ガス排出弁が必要
円筒缶	<ul style="list-style-type: none"> 一般的な形状と構造 内圧に強い かしめ封止構造が可能 	<ul style="list-style-type: none"> スペース効率と冷却効率が低い ラミネートフィルムより重い ガス排出弁が必要
ラミネートフィルム	<ul style="list-style-type: none"> シンプルな構造 セルが組み立てやすい 軽量 	<ul style="list-style-type: none"> 封止構造の長期信頼性が低い 膨張や破裂がしやすい セルの支持構造が必要

が高く、レトルト食品などにも用いられている。電極コイルをあらかじめ成型したラミネートフィルムの中に挟みこみ、周囲を熱融着することによりシールするので、軽量の電池セルが実現できる。内部圧力が高まると熱融着したシール部分が開口するので、破裂板^(注1)も不要になるというメリットもある。しかし、熱融着シールに対してHEV用電池に求められる耐久性を保証するのは困難である。HEV用二次電池には、24万km若しくは10年間の保証がカリフォルニア州のZEV (Zero Emission Vehicle) 規制で求められている⁽⁴⁾。

一方、角型缶では前述のスペース効率や、冷却効率、シール信頼性などの課題を解決できることから、SCiB_{TM}にはアルミ角型缶を採用している。

SCiB_{TM}セルの基本デザインを図1に示す。アルミ角型缶本体は深絞りで一体成型し、電極端子が取り付けられているアルミ製のキャップを本体の深絞り缶にレーザ溶接して、高い信頼性、防湿性能、及びガス遮断性能を実現した。電極端子がセル上面に集中配置されているので、アルミバスバー^(注2)を取り付けた後、一体でレーザ溶接し、低抵抗でアルミバスバーと接続できる。このようにSCiB_{TM}セルは、電池パックの組立て性の点で種々の配慮がなされている。

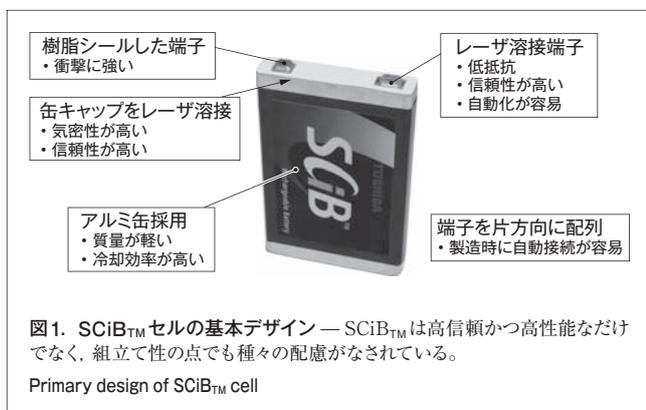


図1. SCiB_{TM}セルの基本デザイン — SCiB_{TM}は高信頼かつ高性能だけでなく、組立て性の点でも種々の配慮がなされている。

Primary design of SCiB cell

(注1) 破裂板は、あらかじめ決められた設定圧力で確実に作動する圧力安全装置。
 (注2) バスバーは、電源供給ラインに電線の代わりに使用される細長い棒状の金属板。

3 電池パックと保護回路基板

3.1 電池パックの小型・軽量化

SCiB_{TM}は広い充電率(SOC)の範囲で高い出力性能を持ち、SOCによる出力性能の変化は小さい^{(1)~(3), (5)}。そのためHEVに必要なパワーを取り出せるSOC範囲が広く、利用可能なエネルギーが大きい。Freedom CAR Battery Test Manual⁽⁶⁾に基づいて、90セルから成る電池パックに対する有効エネルギーを評価すると、10秒間出力電力27kW及び10秒間回生電力24kWを同時に利用できるバッテリーの有効エネルギーは500Whとなる。

車載用として実用化されているニッケル水素(Ni-MH)電池パック、従来型LIBパック、及びSCiB_{TM}電池パックの性能比較を図2に示す。SCiB_{TM}電池パックの質量当たりの有効エネルギー密度と出力密度は、Ni-MH電池パックや従来型LIBパックに比べ大幅に上回っている。また、高い出力特性を得られるSOC範囲が広く、有効に出力できる実効容量が大きい。そのため、HEV用として必要な出力とエネルギーを備えた電池パックが小型・軽量化できる。

3.2 電池パックの安全性

内部短絡は電池異常として外部から測定できないため、外部から保護することは困難である。これに対してSCiB_{TM}は、内部短絡における本質的な安全を確保している。チタン酸リチウム(LTO)負極を採用することで、強制的に内部短絡を発生させても、内部短絡反応速度は通常の黒鉛負極を用いたLIBの1/1000程度となる^{(3), (5)}。そのため、短絡部が急激な発熱に至らず、電池全体への発熱反応の拡大及び熱暴走反応が抑制される。

また、SCiB_{TM}はLTO負極の採用により、高温環境下の熱的安定性も非常に高められており、内部短絡に対する本質的な安全性だけではなく、外部からの電池保護についても取扱い

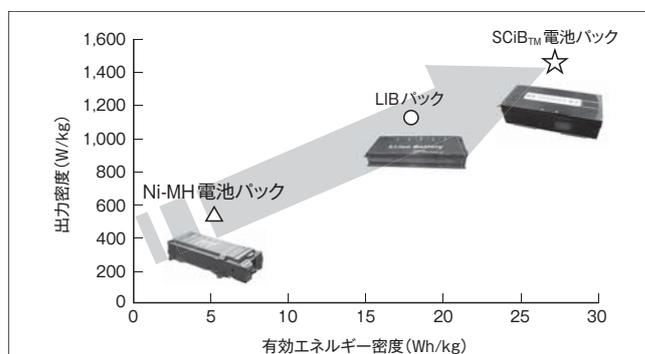
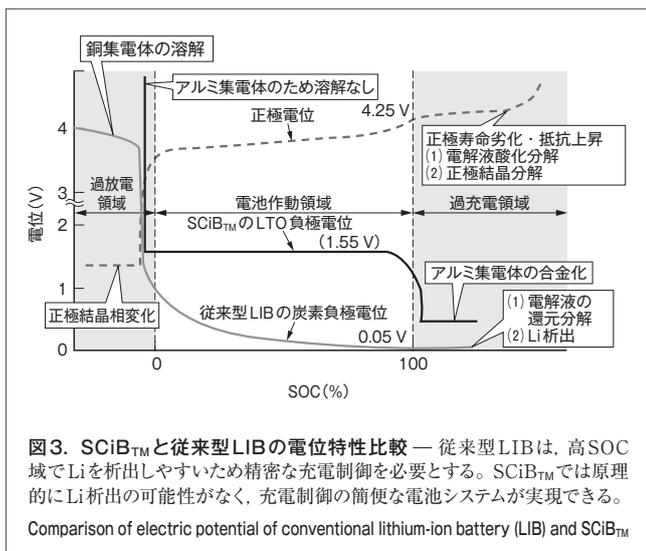


図2. 従来の車載用電池パックとSCiB_{TM}電池パックのエネルギー密度と出力密度の比較 — SCiB_{TM}電池パックは、従来よりも大幅な高出力密度化と高エネルギー密度化により、小型・軽量化ができる。

Comparison of energy density and power density of conventional in-vehicle battery packs and SCiB_{TM} battery pack



が容易で、より高い安全性の確保が可能である。

SCiB™と従来型LIBの電位特性を図3に示す。作動媒体であるLiイオンは充電時に正極から負極に、放電時にはその逆に移動する。SOCが0%では負極のLiイオン吸蔵量は最小となり、満充電状態では負極上のLiイオン吸蔵量は最大となる。正極はその逆である。このLiイオン吸蔵量の変動により、正極と負極の電位が変化する。

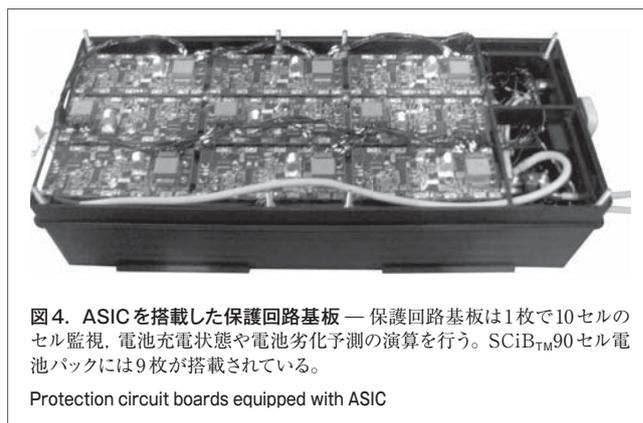
従来のLIBの場合、SOCが高くなるほど炭素系負極電位はLi析出電位に近くなる。高SOC域では負極電位がLi析出電位に対して約0.05Vとなり、Liが針状に析出して内部短絡を誘発しやすく、熱暴走に至る可能性がある。このため、炭素系負極を用いる従来型LIBでは充電制御が安全性を左右する。

一方、LTO負極は広いSOC範囲で、Li析出電位に対して1.5Vの電位を持ち、通常のSOC範囲(0~100%)では原理的にLi析出が生じない。また、過充電領域でもLTO負極は約0.5Vの電位を確保しておりLi析出は起きない。SCiB™の電池電圧は、SOCが100%以上の過充電領域では約4Vまで急激に電圧が上昇する。これは、LTO負極電位が過充電領域に入ると1.5Vから0.5V程度まで急激に低下する特性に起因する。これに対して炭素負極の電位は、過充電領域に入ってもほとんど変化しないため、満充電付近の電位上昇は緩やかで、過充電検出が容易ではない。

更に、SCiB™のLTO負極では満充電時に急激な電位降下を生じ、動作電圧は1V以上高くなるため、満充電状態や過充電の検出が非常に容易である。このように、SCiB™は電池の異常状態の検出が容易であり、電池システムでの安全性確保の面でも優れている。

3.3 保護回路基板

SCiB™の保護上の特長を最大限に生かすため、専用の電池セル電圧監視用ASIC(用途特定IC)を開発した。ASICを



搭載した保護回路基板を図4に示す。

SCiB™の保護回路基板では、セル電圧はASICにより監視され、電池パックごとに設けられたホストボードにより管理される。ASICは直列に接続されたセルごとの電圧を監視し、保護情報とセルごとの電圧情報をホストボードに伝達する。ホストボードではセルのASICからの保護情報と電圧情報によりセル監視を行い、上位システムに電池の保護情報を伝えるとともに、SCiB™のセル電圧特性、電流積算による電池の充電状態(SOC計算)などの必要な演算を実施する。

4 HEVへの適用と燃費の改善効果

当社は、開発したSCiB™90セル電池パックの有効性を評価するため、これを市販のHEV車に搭載し、エミッション及び燃費測定試験を実施した。試験方法としては、米国で定められている燃費測定車両速度スケジュールであるFTP(Federal Test Procedure)75⁽⁷⁾を使用した。FTP75は、加減速を繰り返し約30分間で23回停止する、市内走行に近い速度プロファイルから成る。

測定結果の一部を図5に示す。(a)は、市販のHEV車両にNi-MH電池を搭載したオリジナル状態(以下、オリジナル車両と呼ぶ)の測定結果を、(b)は、SCiB™に交換して測定した結果を示す。車の走行速度は、FTP75に定められたスケジュールに従っている。SOCに注目すると、オリジナル車両では60%前後の非常に狭い領域だけが使用され、SCiB™搭載車両では50~70%の領域が使用されている。

この特性から、SCiB™ではSOCの範囲を広く設定することができ、充放電効率も95%と高いため、回生エネルギーを極めて有効に利用することができる。エンジン回転数に注目して測定結果を比較すると、オリジナル車両ではエンジンが回転しているのに対して、SCiB™ではエンジンが回転していない部分が随所に認められる。

炭酸ガス排出量及び燃料消費率の測定結果を表3に示す。炭酸ガス排出量と燃料消費率には有意な差が記録されてお

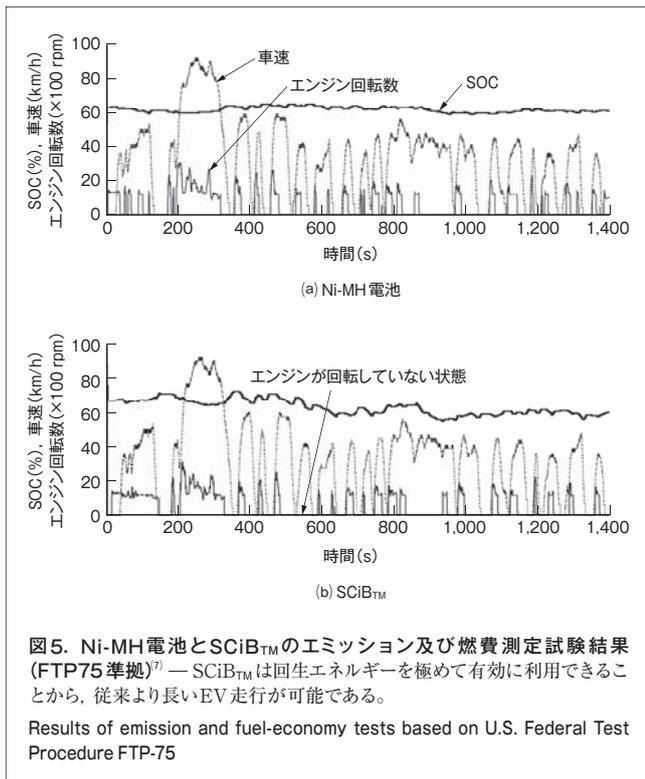


表3. FTP75における炭酸ガス排出量と燃料消費率の比較

Comparison of CO₂ emission and fuel-economy test results for original HEV and HEV equipped with SCiB™

項目	オリジナル車両	SCiB™搭載車両
炭酸ガス排出量 (g/km)	91.6	89.6
燃料消費率 (km/l)	25.9	26.4

り、SCiB™搭載車両はオリジナル車両に対して炭酸ガスの排出及び燃費が改善されている。

また、米国でハイウェイと市街地を含む1,500マイルの実走行試験を行った。この実走行試験でもSCiB™搭載車両は、オリジナル車両に対して3%の燃費低減が測定された。更に、容量が3 AhのSCiB™90セル電池パックを使用して、電池だけで走行するEV (電気自動車) 走行の確認試験も実施した。その結果、SOCが30~80%の範囲で3.5 kmの市街地走行ができることが確認された。

SCiB™は、SOCが20~80%で連続10C^(注3)の充放電レートでは、6万充放電サイクル後の容量劣化はわずか4%程度と推定され、EV走行を多用したHEVやプラグインHEV (PHEV) タイプの走行サイクルに対しても、十分実用的な耐久性能がある。

(注3) 電池の充放電の電流値はCレート (=電流値 (A) / 容量 (Ah)) で表される。容量1 Ahの電池を10 Aで充放電すると10 Cとなる。

5 あとがき

SCiB™は広いSOC範囲で出入力特性が優れているため、広いSOC範囲で利用可能であり、HEVに適した特性を持っている。HEV用SCiB™セルはHEVへの搭載を前提に、冷却効率及び容積効率に優れた角型缶構造が採用されており、開発した90セル電池パックにより電池システムの小型化が実証された。SCiB™電池パックはHEV用SCiB™セルを90個直列に接続し、20 l、18 kgと小型かつ軽量であるが、27 kWの出力電力に対してHEVに必要な500 Whのエネルギーを供給することができる。

SCiB™は、更なる高エネルギー・高容量セルにおいても、安全性を確保しつつ極めて優れた性能を発揮することが確認されている。今後、EV向けにもSCiB™セル及び電池パックの開発を促進していく。

文献

- 小杉伸一郎, ほか. 安全性に優れた新型二次電池 SCiB™. 東芝レビュー. 63, 2, 2008, p.54-57.
- 高見則雄, ほか. ナノ材料電極を用いた新型電池. 東芝レビュー. 61, 2, 2006, p.6-10.
- 高見則雄, ほか. 耐久性と安全性に優れたハイブリッド自動車用新型二次電池 SCiB™. 東芝レビュー. 63, 12, 2008, p.54-57.
- California Code of Regulations, title 13, section 1962. 1:2008-12. California Exhaust Emission Standards and Test Procedures for 2009 and Subsequent Model Zero-Emission Vehicles, and 2001 and Subsequent Model Hybrid Electric Vehicles, in the Passenger Car, Light-Duty Truck and Medium-Duty Vehicle Classes. California Environmental Protection Agency AIR RESOURCES BOARD.
- Takami, N., et. al. Electrochemical Kinetics and Performance of 2-volt Class Battery System and Safety. Journal of Electrochemical Society. 156, 2, 2009, A, p.128-132.
- U.S. Department of Energy. FreedomCAR Battery Test Manual for Power Assist Hybrid Electric Vehicles. DOE/ID-11069, 2003-10, 40p.
- US Code of Federal Regulations. 40 CFR 86. Control of Emissions from New and In-Use Highway Vehicle and Engines.



小杉 伸一郎 KOSUGI Shinichiro, D.Eng.
電力流通・産業システム社 SCiB事業推進統括部 SCiB技術部主幹, 工博。新型電池の事業開発に従事。
Super Charge Battery Div.



高見 則雄 TAKAMI Norio, D.Eng.
研究開発センター技監, 工博。
新型電池の開発に従事。電気化学会, 米国電気化学会会員。
Corporate Research & Development Center



本多 啓三 HONDA Keizoh, D.Eng.
電力流通・産業システム社 二次電池システム担当技師長, 工博。新型電池の事業開発に従事。
Transmission Distribution & Industrial Systems Co.