

電気自動車用 SCiB™ 電池モジュール

SCiB™ Battery Modules for Electric Vehicles

宮本 英則

榎本 貴志

小杉 伸一郎

■ MIYAMOTO Hidenori

■ ENOMOTO Takashi

■ KOSUGI Shinichiro

環境への配慮から、走行中に二酸化炭素 (CO₂) を排出しないうえ、電力を蓄えることもできる電気自動車 (EV) への期待が高まっている。EV用電池としては、エネルギー密度が高く、小型・軽量化が可能なりチウムイオン電池の搭載が始まっている。

東芝は、入出力特性、安全性、寿命、及び低温特性に優れた二次電池 SCiB™ を使用した電池モジュールを開発し、三菱自動車工業 (株) が製品化したEV “i-MiEV (アイ・ミーブ)” のMグレードに採用された。SCiB™ が備える入出力特性により、10.5 kWhの搭載容量でありながら車両として十分な加速・走行性能が達成され、1回の充電で120 kmを走行できる。また、急速充電性能にも優れており、15分で80%の急速充電も可能で、実用性に優れている。

Electric vehicles (EVs), which release no carbon dioxide into the air and whose batteries can be recharged during driving, are a focus of rising expectations as a means of reducing the burden on the environment. Lithium-ion batteries (LIBs) have recently begun to be installed in EVs due to their high energy density and reduced size and weight.

Toshiba has developed two types of battery modules for EVs applying SCiB™ battery cells, which provide excellent input/output characteristics, intrinsic safety, superior lifetime, and good performance even in low-temperature environments. SCiB™ battery modules are installed in the i-MiEV M grade EV produced by Mitsubishi Motors Corporation.

These SCiB™ battery modules make it possible to offer the following performance for practical EV applications: (1) sufficient acceleration and driving performance due to the good input/output characteristics, even with a capacity of 10.5 kWh; (2) a mileage of 120 km per single charge (JC08 mode); and (3) excellent fast charging performance, with charging up to 80% of capacity possible in 15 minutes.

1 まえがき

走行中に温室効果ガスのCO₂を排出せず、また、エンジンによる振動がないため静粛で快適な乗りごこちが得られるEVは、電池の特性改善により実用レベルに近づいており、実用化への期待が高まっている。また、急速充電器などのインフラも徐々に整備が進み、今後は大幅に普及していくことが期待される。

東芝は、このたび、安全性、寿命、入出力特性、及び低温特性に優れた二次電池 SCiB™ を用いた電池モジュールを開発し、三菱自動車工業 (株) が製品化したEVのi-MiEVに採用された^{(1), (2)}。ここでは、SCiB™ 電池モジュールの主な特長と、課題を解決した技術について述べる。

2 SCiB™ 電池モジュールの概要

i-MiEVに採用された電池モジュールには、2011年から当社の柏崎工場で量産を開始した20 AhのSCiB™ セルが使用されている。この20 Ahセルを2並列12直列、又は2並列9直列に接続し、更に電池監視用基板を組み合わせて、それぞれ1.1 kWh又は0.8 kWhのエネルギーを蓄えることができる2種類のSCiB™ 電池モジュールを構成する (図1, 表1)。エネル

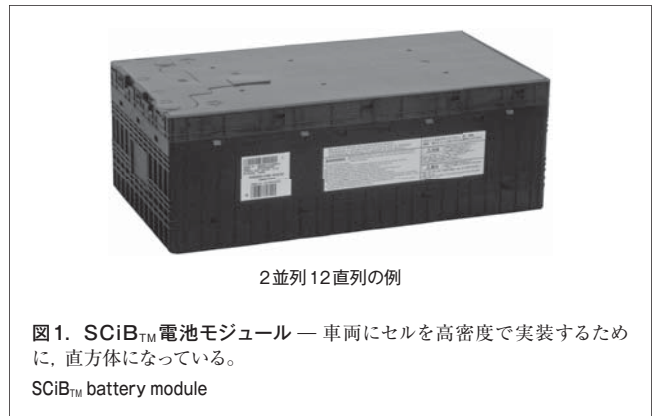
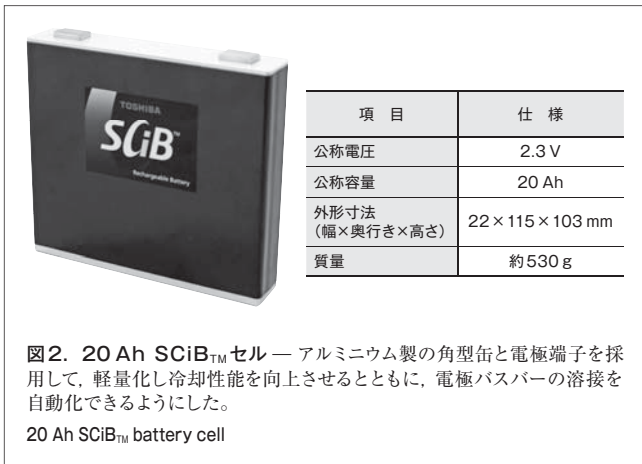


表1. SCiB™ 電池モジュールの基本仕様
Basic specifications of SCiB™ battery modules

項目	仕様	
	2並列12直列モジュール	2並列9直列モジュール
公称電圧 (V)	27.6	20.7
公称容量 (Wh)	1,104	828
外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)	360×190×124	360×165×124
質量 (kg)	約13.7	約10.5
容積 (L)	8.48	7.37
エネルギー密度 (Wh/L)	130	112



ギー密度は、それぞれ130 Wh/L, 112 Wh/Lである。車両にセルを高密度で実装するため、SCiB™電池モジュールは直方体となっている。この電池モジュールを複数組み合わせ、車載用の電池パックを構成する。

この電池モジュールに使用しているSCiB™セルは、軽量化、冷却性能の向上、及び電極バスバーの溶接の自動化のために、アルミニウム製の角型缶とアルミニウム製の電極端子を採用している(図2)。

3 i-MiEVの概要

i-MiEV(図3)には、表1に示した2並列12直列と2並列9直列の電池モジュールが組み合わされて搭載されている。

i-MiEVの主な仕様を表2に示す。20 Ahセルを複数個搭載することで、電池容量は10.5 kWhとなっている。1回の充電で、日常の通勤や配達業務などには十分な120 kmを走行することができる。また、SCiB™の急速充電性能を生かして、15分で電池容量の80%まで充電することができる。更に、SCiB™は放電特性も優れており、10.5 kWhの電池容量でありながら、軽自動車の日常的な使用には十分な加速性能や登坂



表2. i-MiEVの主な仕様

Basic specifications of i-MiEV

項目		仕様
車体	1充電走行距離	120 km (JC08モード*)
バッテリー	総電圧	270 V
	総電力量	10.5 kWh
充電	急速充電	15分(電池容量の80%)
	200 V充電	約4.5 h

*自動車の燃費を測定するための走行パターンの一つ

性能を実現している。

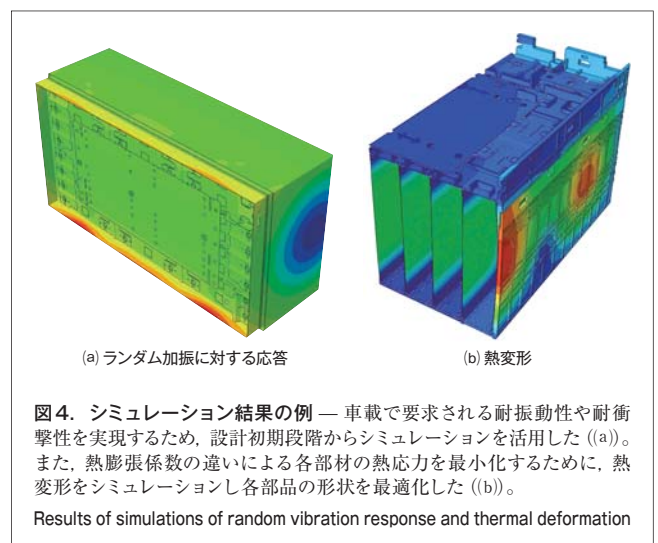
4 電池モジュール開発における課題の解決

EV用電池では、搭載するセル数及び電池容量が走行距離を決定する。一方で、電池モジュールは車両の床下に搭載されその搭載スペースが限られるため、電池モジュールの設計においては、セルの高密度実装が課題である。SCiB™電池モジュールでは、電池モジュールの体積に占めるセルの体積の割合(体積実装率)が従来品の55%に比べ74%と向上している。

4.1 体積効率の向上

SCiB™電池モジュールは車載状態で、車両走行時の振動や段差を乗り越える際の衝撃、更には車両衝突時の衝撃など、様々な振動や衝撃を受ける。また、真冬の低温から真夏の炎天下まで、広い温度範囲で使用される。このような使用条件に耐え、かつ小型・軽量化して体積効率を高めるために、セルと筐体(きょうたい)を接着して一体化し、セル自体の強さも生かした構造を採用している。

車両走行時にSCiB™電池モジュールに加わる振動条件を模擬したランダム加振に対する応答をシミュレーションした。その結果を図4(a)に示す。車両の走行により加わる様々な振



動に対して、異常な振動応答が発生しないように設計の初期段階からシミュレーションを繰り返し、小型で軽量の電池モジュールを実現した。

また、基本的に屋外で使用される車両の使用温度範囲は、通常の家電製品と比べて広い。温度を変化させたときのSCiB_{TM}電池モジュールの熱変形解析結果を図4(b)に示す。セル、主回路を構成しているバスバー、及び電圧や温度を検出する電池監視用基板それぞれの熱変形は、材質が異なるために熱膨張係数が異なり、低温や高温の環境下で熱応力による割れや疲労破壊が発生するおそれがある。体積効率を向上し、この熱応力を最小化するために各部品の形状を最適化している。

4.2 冷却設計とセル端子間接続の低抵抗化

セルは電流を流すと発熱するが、これは、電池の内部抵抗と通電電流により発生するジュール熱が主な原因である。セルは温度が上昇すると寿命が短くなるため、セルの温度は60℃以下に抑える必要がある。また、狭小なスペースにセルを高密度に実装すると、放熱が課題となる。今回使用しているSCiB_{TM}セルは、内部抵抗が低いために発熱量が少ないという特長があるが、SCiB_{TM}電池モジュールの設計においてもセル自体の持つ特長を生かすために、通電部分の抵抗を小さくし、発熱を抑える構造とした。更に、SCiB_{TM}電池モジュールのセルを保持する筐体を薄肉化することで放熱しやすい構造にし、電池モジュールの温度上昇を抑制している。

電池モジュール内の主回路はねじなどで接続するのが一般的であるが、ねじ接続の場合、接触抵抗が累積して電池モジュールとしての総抵抗が大きくなり、出力容量が下がるだけでなく、抵抗の増加により発熱量も大きくなる。

一般的にねじ締結部1か所当たりの電気抵抗は0.1 mΩ程度であるが、溶接の場合には接触抵抗がなく、アルミニウム製バスバーの断面積と長さにより決まる電気抵抗と、セルの内部抵抗だけになる。SCiB_{TM}電池モジュールでは、レーザー溶接による接続を採用することで、抵抗値が33%低減している。多数のセルを使用するEV用電池では、接続点が多くなるため、それらの低抵抗化は電池パック全体の低抵抗化に大きな効果がある。

4.3 電圧・温度監視

リチウムイオン電池(LIB)セルが過充電されると、最悪の場合、発煙や発火に至る可能性がある。そこで、LIBセルの過充電を避けるため、それぞれのセルの電圧を監視する必要がある。SCiB_{TM}においても過充電防止のためにセルの電圧を監視しているが、今回開発した電池モジュールでは、セルの電圧の監視は二重化しており、電圧を監視する電池監視用基板を、セル端子の上部にある、セル間のバスバーが設置される空間に置いている。この電池監視用基板により、並列接続されたセルの電圧を測定する。また、セルの自己放電はセルご

とに若干のばらつきがあり、温度によってもその量は変わる。LIBでは、この自己放電のばらつきによる残存エネルギーを均一化させることで、電池パックとして使えるエネルギーを最大化させている。この機能をセルバランスといい、SCiB_{TM}電池モジュールでは、電池監視用基板上に設けられたセルバランス用スイッチを閉じ、抵抗に放電させることでセルバランスを行っている。

電池監視用基板は、セルとバスバーの温度も同時に監視している。セルの温度が異常に上昇するとセルの寿命が短くなるだけでなく、最悪の場合、セルが熱暴走に陥る危険性がある。また、セル間のバスバーの溶接が外れると、接触抵抗による加熱でバスバーやセル端子が異常に加熱される可能性があるため、バスバーの温度も監視している。

5 電池モジュールの性能

5.1 安全性

EV用電池モジュールでは、事故による電池の変形や、変形により引き起こされる内部短絡、及び端子どうしの外部短絡が起きる可能性があるが、このような事故が起きても車両の安全性が確保されている必要がある。そこで、車両事故を想定した電池モジュールの押しつぶし試験や、内部短絡試験(くぎ刺し試験)、強制外部短絡試験、耐延焼試験などを実施して安全性を確認した。

一例として、内部短絡試験を行った電池モジュールの外観を図5に示す。図からわかるように、外観変化や、弁開放、漏液、発煙、発火、破裂、爆発などの異常は発生していない。また、セルの温度上昇も100℃程度であり、樹脂製筐体の変形も発生していない。これらの結果から、万一セルが内部短絡しても、車両や人命に関わる事態にはならないことが確認できた。

5.2 最大負荷性能

SCiB_{TM}電池モジュールは、一般的なLIBと比べ約1/2の時間で充電が可能であり、125 Aで急速充電した場合、15分で容

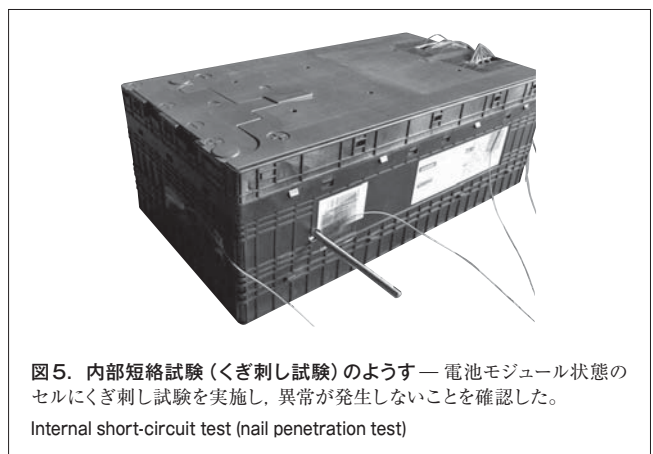


図5. 内部短絡試験(くぎ刺し試験)のようす — 電池モジュール状態のセルにくぎ刺し試験を実施し、異常が発生しないことを確認した。
Internal short-circuit test (nail penetration test)

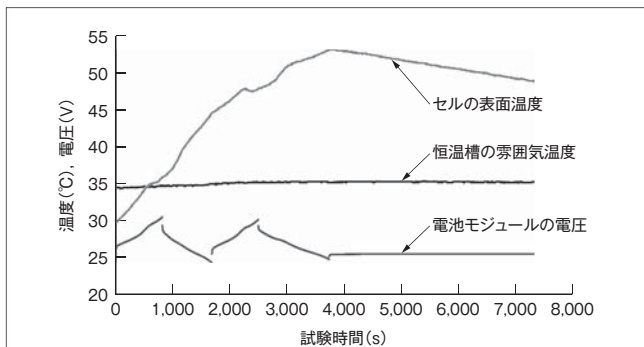


図6. 最大負荷試験の結果 — 車載仕様の代表的な最大負荷パターンでの温度試験を実施した。強制冷却がなくても、セルの温度は許容値の60℃を超過しないことがわかった。

Results of maximum load test

量の80%まで充電可能である。このような条件での充電では電池の温度上昇を招きやすく、従来は急速充電が難しかった。

実機による最大負荷試験の結果を図6に示す。急速充電を含む、EVで想定される最大負荷パターンで電池モジュールの負荷試験を行い、セルの温度が60℃を超えないことを確認した。i-MiEVにおいては、電池モジュールは自然冷却であり、冷却ファンによる強制冷却は行われず。このような厳しい冷却条件においても、実用上考えられる最大負荷条件下でセルの温度は許容値の60℃以下に抑えられている。これは、SCiB™セル自体の低抵抗性とレーザ溶接を用いた接続部の低抵抗化により、発熱そのものが抑制されているためである。また、冷却ファンを省くことで、電池に蓄えられたエネルギーをより有効に利用することができる。

5.3 長寿命 (サイクル) 性能

SCiB™電池モジュールの充電と走行 (放電) の繰返し回数は、一般的なLIBと比べ2.5倍以上であり、搭載車両の寿命期

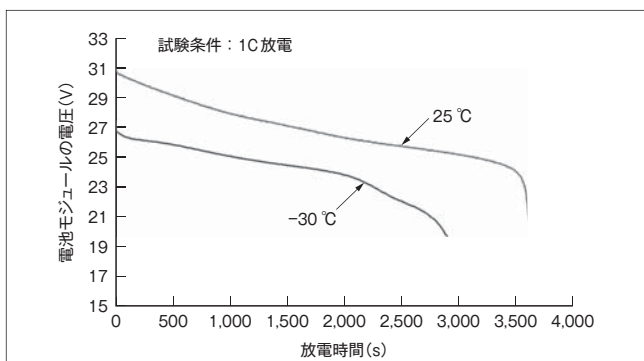


図7. -30℃と25℃における放電時間の比較 — -30℃時の放電時間は25℃時に比べ80%以上あり、低温下でも実使用できることがわかった。
Comparison of discharge times at -30°C and 25°C (during 1C discharge)

(注1) Cは電池容量に対する充放電電流量の比率で、例えば公称容量が20 Ahの電池では、1C=20 A、2C=40 Aの電流量を表す。

間での交換が不要である。2,500回充放電を行うと25万 km以上走行でき、総走行可能距離はエンジン自動車と変わらない。

5.4 低温下での充電・走行性能

SCiB™電池モジュールは-30℃の低温環境下でも充放電が可能であり、幅広い温度範囲で使用用途にも適している。

-30℃及び25℃における放電特性を図7に示す。1C^(注1)放電で、モジュールを構成するいずれかのセル電圧が1.5 V以下になったところで放電を停止する。25℃における放電時間に対して-30℃時のそれは80%以上あり、低温下でも実使用できることがわかった。

6 あとがき

ここでは、EV用途に適した特性を持つSCiB™電池モジュールについて述べた。この電池モジュールは、2011年7月に当社の柏崎工場で量産が開始された。

今回は乗用車のi-MiEVに搭載されたが、今後は商用車のMINICAB-MiEVへの適用も予定されており⁽¹⁾、EV用途の標準モジュールとして更に量産を進めていく。

文献

- (1) 三菱自動車工業. “今夏、[i-MiEV]にお客様の実質的な負担額が200万円以下となるエントリーグレードを追加”. 三菱自動車ホームページ. <http://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_jp/products/2011/news/detail4477.html>. (参照2011-09-09).
- (2) 東芝. “二次電池「SCiB」が三菱自動車の電気自動車に正式採用”. 東芝ホームページ. <http://www.toshiba.co.jp/about/press/2011_06/pr_jl603.htm>. (参照2011-09-09).
- (3) 小杉伸一郎 他. 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.



宮本 英則 MIYAMOTO Hidenori

社会インフラシステム社 自動車システム統括部 SCiB開発部 主務。二次電池SCiBを使用したバッテリーシステムの設計・開発に従事。

Automotive Systems Div.



榎本 貴志 ENOMOTO Takashi

社会インフラシステム社 自動車システム統括部 SCiB開発部 参事。二次電池SCiBを使用したバッテリーシステムの設計・開発に従事。

Automotive Systems Div.



小杉 伸一郎 KOSUGI Shinichiro, D.Eng.

社会インフラシステム社 自動車システム統括部 SCiB開発部 主幹, 工博。二次電池SCiBを使用したバッテリーシステムの設計・開発に従事。

Automotive Systems Div.