

SCiB™ を用いた鉄道車両向け車上蓄電システム

Battery Energy Storage Systems for Rolling Stock Using SCiB™ Lithium-Ion Battery

廣田 航介

■ HIROTA Kohsuke

電力システムや自動車などに蓄電池の適用が拡大するなか、鉄道分野でも蓄電システム技術が注目されている。蓄電システムを車両に搭載することで、自力走行や回生エネルギーの有効活用が可能になり、安全性や省エネ性の向上に寄与すると期待されている。

東芝は鉄道車両へ搭載する蓄電システムとして、大規模停電などの異常時に自力走行することを目的とした非常走行用蓄電システムと、架線レス区間における走行を可能にする架線レス走行用蓄電システムを開発した。当社が開発したリチウムイオン二次電池 SCiB™ を蓄電池として用いることで、安全性が高く長寿命の蓄電システムを実現した。

Accompanying the expansion of storage battery applications to power systems and automobiles in recent years, attention has been focused on technologies for battery energy storage systems in the field of railway systems. The installation of a battery energy storage system on rolling stock can be expected to improve safety and energy-saving performance because it allows operation to continue even in the absence of an external power supply and makes effective use of regenerative energy.

Toshiba has developed two onboard battery energy storage systems for rolling stock: (1) a battery energy storage system for emergency operation in the event of an abnormality such as a blackout, and (2) a battery energy storage system for train operations in sections without a catenary. These systems achieve high safety and long service life through the adoption of our SCiB™ lithium-ion battery as a storage device.

1 まえがき

東芝が開発したリチウムイオン二次電池 SCiB™⁽¹⁾ を用いた蓄電システムは、これまでに電力システム、HEMS (Home Energy Management System)、及び電気自動車をはじめ様々な用途に適用されており、更に応用分野が広がっている。

鉄道分野では、架線からの給電なしでの自力走行や、電気ブレーキで発生した回生エネルギーを蓄えることによる電力の有効活用などのメリットを見込んで、車両に蓄電システムを搭載する技術に注目が集まっている。

このような背景のなかで、当社は用途に応じた蓄電システムの開発を進めている。今回、鉄道車両に搭載する蓄電システムとして、変電所ダウンなどの異常時に自力走行できるようにする非常走行用蓄電システムと、架線レス区間でも走行できるようにする架線レス走行用蓄電システムを開発した。

ここでは蓄電システムに使用する SCiB™ の特長と、SCiB™ を用いた2種類の車上蓄電システムの概要と動作試験について述べる。

2 SCiB™ の特長

SCiB™ は従来の蓄電池に比べて、安全性、入出力特性、及び低温性能に優れ、大容量で、長寿命であり、更に急速充電



が可能であるなどの特長を持つ (図1)。

2.1 安全性

SCiB™ が安全性に優れるのは、負極に熱的に安定な酸化物系新材料 (チタン酸リチウム (LTO) 系) を採用しているためである。LTO はリチウム金属の析出が起こりにくく、従来のリチウムイオン二次電池と比較して内部短絡の起こる可能性が極めて低い。また、外力などにより内部短絡が発生した場合でも、短絡箇所が低伝導性物質に変化するため発熱が抑えら

れる。このように SCiB™ は本質的に熱暴走を起こさない安全性を備えている。

2.2 入出力特性及び寿命

SCiB™ は充放電における性能劣化が少なく、寿命特性に優れている。3C^(注1) という高レートでの充放電を繰り返したときの容量回復率を図2に示す。3Cの充放電サイクルを15,000回実施した後も、容量回復率は80%以上を維持している。

2.3 低温性能

低温での使用でも SCiB™ は優れた性能を発揮する。-30℃でも従来のリチウムイオン二次電池と比較して容量維持率が極めて高い。

セルの温度による放電容量維持率の変化を図3に示す。1/3Cの放電による放電容量を温度ごとに測定したものであるが、-30℃で放電容量維持率が25℃の場合の約75%を維持しており、-30℃という厳しい環境下であっても十分実使用に耐えるものであることがわかる。

2.4 バッテリーモジュール

20 Ah SCiB™ セルとそれを搭載したバッテリーモジュールの外観を図4に、それぞれの仕様を表1に示す。バッテリーモジュールは、SCiB™ セルを2並列12直列に接続し、電池監視用基板を組み込んだ構成である。



(a) 20 Ah SCiB™ セル (b) バッテリーモジュール

図4. 20 Ah SCiB™ セル及びバッテリーモジュール — バッテリーモジュールは、SCiB™ セルを2並列12直列に接続し、電池監視用基板を組み込んだ。

20 Ah SCiB™ battery cell and battery module

表1. SCiB™ セル及びバッテリーモジュールの仕様
Specifications of SCiB™ battery cell and battery module

項目		仕様
セル	公称電圧	2.3 V
	公称容量	20 Ah
	外形寸法 (幅×奥行き×高さ)	115×22×103 mm (端子含まず)
	質量	515 g
バッテリーモジュール (2並列12直列)	公称電圧	27.6 V
	公称容量	40 Ah, 1.104 kWh
	外形寸法 (幅×奥行き×高さ)	187×359×123 mm
	質量	14 kg

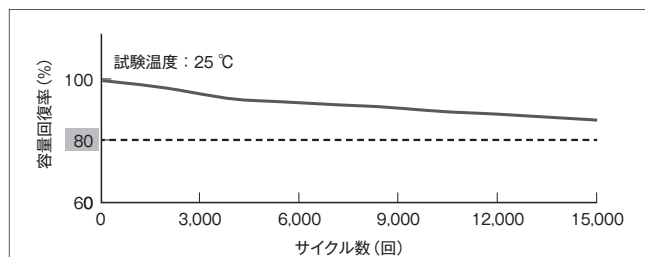


図2. 充放電サイクルによる容量回復率 — 高レート (3C) の過酷な充放電サイクルを15,000回繰り返しても、80%以上の容量回復率を維持できる。

Capacity recovery rate according to charge-discharge cycles

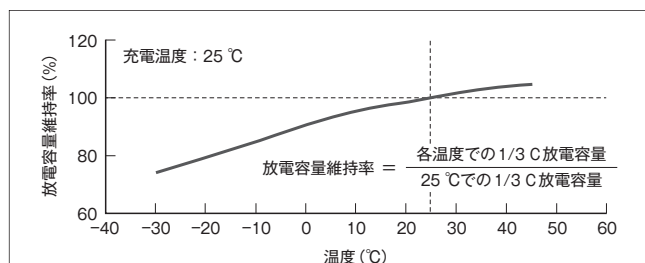


図3. 低温環境下における放電容量維持率 — -30℃の低温環境でも十分な放電容量維持率を持つ。

Discharge capacity maintenance rate in low-temperature environments

(注1) 電池の充放電電流値の相対的な比率を表す単位。電流値 (A) / 容量 (Ah) で算出される。

3 非常走行用蓄電システム

当社は、東京地下鉄(株)の銀座線1000系車両(図5)向けに、非常走行用蓄電システムを受注した。

蓄電システムの搭載で、大規模停電などの場合にも最寄り駅までの自力走行が可能になり、乗客の安全確保に貢献できる⁽²⁾。1000系車両の諸元を表2に示す。

3.1 蓄電システムの構成及び仕様

主回路システムの構成を図6に示す。この中で蓄電システムは、SCiB™ を搭載する非常走行用蓄電池箱と、充放電の制御



図5. 東京地下鉄(株)1000系車両 — 蓄電システムを搭載し、非常時に最寄り駅まで自力走行ができる。

Series 1000 electric multiple unit (EMU) of Tokyo Metro co., Ltd.

表2. 1000系車両の諸元

Specifications of Series 1000 EMU

項目	内容
車両編成 (MT比 ^{*1})	2.5M3.5T
電気方式	直流600V第三軌条 ^{*2} 式
最高運転速度	80 km/h
空車質量	169.5 t
定員	610人
加速度	3.3 (km/h)/s
減速度	通常時最大: 4.0 (km/h)/s 非常時: 4.5 (km/h)/s

*1: 鉄道車両の動力車 (M: Motor) と付随車 (T: Trailer) の構成比
*2: 走行用のレールとは別に敷設される, 給電用の第三のレール

3.2 通常時と非常時の蓄電システムの動作

通常時は充電装置箱によりSCiB™を充電する(図6(a)). SCiB™の充電状態(SOC: State of Charge)を監視し, 満充電になると自動的に充電を完了する。

非常時には, 車両から非常運転モード指令を行うことによりスイッチ (sw1及びsw2) が切り替わり, SCiB™からの放電が開始される(図6(b)).

3.3 今後の展開

この蓄電システムは1000系車両への試験搭載を経て, 2016年4月から営業運用を開始した。今後1000系全編成に搭載される予定である。

4 架線レス走行用蓄電システム

車両に蓄電システムを搭載することで, 路線の一部あるいは全てを架線レスにすることができる。これにより地上設備を削減できるうえ, 景観を改善することにもつながる。今回, 部分的に架線レス区間を持つ路線の車両をターゲットに架線レス走行用蓄電システムを開発し, 2015年2月に架線レスを想定した走行試験を実施した。

4.1 蓄電システムの構成及び仕様

主回路システム及び走行試験を実施した蓄電システムの構成を図7に示す。架線からの供給で直接充電するのではなく, 補助電源装置として搭載しているSIV (Static Inverter) 装置からの安定した出力を蓄電システムへ給電することで, 一般産業向けの小型の直流充電器を適用できる構成を採用した。国内でSIV出力に余力のある車両として, 鹿児島市交通局の協力の下, 1000形路面電車を用いて走行試験を実施した。SIV装置からの交流190V出力の一部を蓄電システムへの充電に充てる。充電は12Aの一定電流で行う。

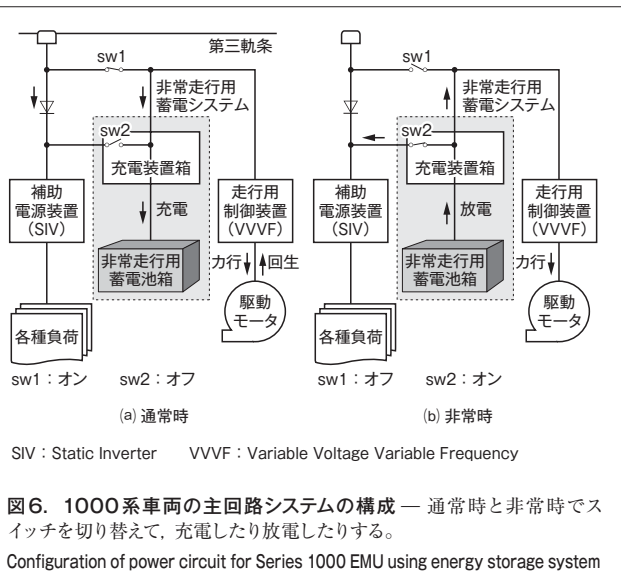


図6. 1000系車両の主回路システムの構成 — 通常時と非常時でスイッチを切り替えて, 充電したり放電したりする。

Configuration of power circuit for Series 1000 EMU using energy storage system

表3. 非常走行用蓄電池箱の仕様

Specifications of battery system for emergency operation

項目	仕様
バッテリーモジュール直列数	20個
公称蓄電池総容量	22.08 kWh
使用環境温度	-10 ~ 40 °C

表4. 非常走行用蓄電池箱及び充電装置箱の外形寸法及び質量

Outline dimensions and weight of battery system for emergency operation and charge-discharge control box

項目	外形寸法 (幅×奥行き×高さ)	質量
蓄電池箱	2,000×760×610 mm	645 kg
充電装置箱	760×730×770 mm	167 kg

や装置保護を担う充電装置箱の二つで構成される。

非常走行用蓄電池箱の仕様を表3に, また, 非常走行用蓄電池箱と充電装置箱の外形寸法及び質量を表4に示す。

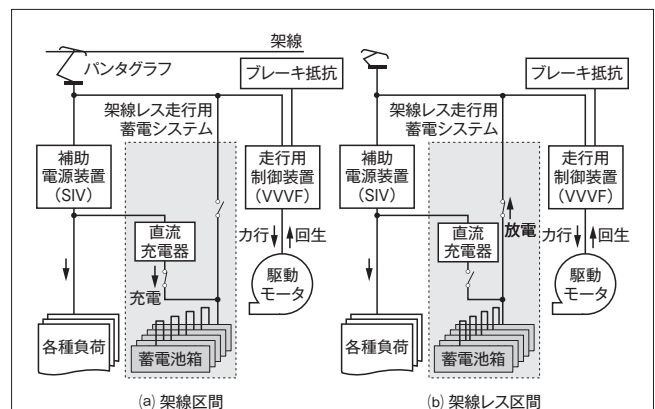


図7. 鹿児島市交通局1000形路面電車の主回路システムの構成 — SIVの安定した出力を蓄電システムに供給することで, 一般産業向けの小型の直流充電器を使用できる。

Configuration of power circuit for Type 1000 tramcar of Kagoshima City Transportation Bureau

蓄電池の仕様を表5に示す。蓄電池箱A(バッテリーモジュール2個を内蔵した蓄電池箱)を1個と蓄電池箱B(バッテリーモジュール5個を内蔵した蓄電池箱)を4個の、合計5個の蓄電池箱を用いてバッテリーモジュールを22個直列に接続することで、公称電圧607.2Vを出力できる。また、24.3kWhの蓄電池総容量を確保した。

蓄電池箱と直流充電器の外形寸法及び質量を表6に示す。

4.2 走行試験の実施方法

試験を実施した鹿児島市交通局1000形車両を図8に、車両の諸元を表7に示す。走行試験では、パンタグラフを下げることで架線レス走行を模擬し確認した。また充電は、パンタグラフを上げることで動作を確認した。

4.3 試験結果

走行試験により、蓄電システムの充放電動作が正常に行えることと、温度や電流値に異常がないことを確認した。また、この車両の主回路システムはもともと電気ブレーキによる回生エネルギーをブレーキ抵抗で消費する構成だったが、これを蓄電システムの充電に使用する試験も行い、正常に動作することを確認した。

表5. 架線レス走行用蓄電システムの蓄電池仕様
Specifications of battery system

項目	仕様
モジュール直列数	22個
公称電圧	607.2V
公称蓄電池総容量	24.3kWh
使用環境温度	-10~40℃

表6. 蓄電池箱及び直流充電器の外形寸法及び質量
Outline dimensions and weight of battery system and charger

装置	外形寸法(幅×奥行き×高さ)	質量
蓄電池箱A	1,100×480×220 mm	81 kg
蓄電池箱B		116 kg
直流充電器	430×550×155 mm	22 kg



図8. 1000形路面電車 — 1000形路面電車に蓄電システムを搭載し、架線からの給電がなくても10.1 kmを自力で走行できることを確認した。
Type 1000 tramcar

表7. 1000形路面電車の諸元
Specifications of Type 1000 tramcar

項目	内容
車両編成	3車体単車
電気方式	直列600V架空電車線式
最高運転速度	40 km/h
空車質量	19.0 t
定員	55人(乗務員含まず)
加速度	2.5 (km/h)/s
減速度	通常時最大: 4.6 (km/h)/s 非常時: 5.0 (km/h)/s

ドアの開閉などを実施する通常運用と同等の条件で、一部の区間で回生エネルギーを使用して約10.1 kmの走行を達成した。

5 今後の展望

3章と4章で述べた二つの蓄電システムでは、回生エネルギーを充電に用いない基本構成としたが、回生エネルギーで充電できるようにすることで、自車内で電力の再利用が可能になり、省エネに貢献できる。

その他に、電気式気動車への蓄電システムの適用も望まれている。現在、ディーゼルエンジンを備えた電気式気動車に蓄電システムを搭載し、回生エネルギーによる蓄電や力行のアシストを行うハイブリッド気動車システムの開発を進めている。

6 あとがき

SCiB™を車両に搭載することで、外部からの給電がない場合でも自力での走行を可能にし、様々なニーズに応える鉄道車両向け車上蓄電システムを開発した。今後もニーズを反映した開発を通して、安全性、利便性、及び省エネ性能に優れた蓄電システムを展開していく。

文献

- (1) 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.
- (2) 東京地下鉄編. 東京地下鉄株式会社 安全報告書2015. 2015. 26p. <http://www.tokyometro.jp/safety/prevention/safety_report/pdf/anzen2015_all.pdf>. (参照 2016-02-10).



廣田 航介 HIROTA Kohsuke

インフラシステムソリューション社 鉄道システム事業部 車両システム技術部。鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。
Railway Systems Div.