

RAMS規格の安全度水準 SIL 4に適合した SCiB™蓄電池システム

Storage Battery System Incorporating SCiB™ Lithium-Ion Rechargeable Battery Cells Compliant with SIL4 of RAMS Standards

黒田 和人 KURODA Kazuto 高橋 潤 TAKAHASHI Jun 萩原 敬三 HAGIWARA Keizo

電力システムや自動車などで蓄電池の適用が拡大する中、鉄道分野でも活用が広がっている。大量輸送機関である鉄道には安全性の確保が求められ、欧州を中心とする海外では、RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) 規格と呼ばれる機能安全要求を含む欧州規格 EN 50126 への適合が必要である。

こうした背景の中、東芝インフラシステムズ(株)は、リチウムイオン二次電池 SCiB™を欧州市場に適用するため、RAMS 規格の安全度水準 SIL 4 (Safety Integrity Level 4) に対応した電池システムコンポーネントを開発した。この電池システムコンポーネントを使用することで、欧州の鉄道車両に搭載可能な蓄電池システムを構築できる。

With the ongoing introduction of storage battery systems in the electric power and automotive fields, the installation of storage battery systems on rolling stock to achieve effective utilization of electricity has also become a focus of attention in recent years. As railway systems used for mass transportation are required to ensure safety, such storage battery systems in the international market, especially in the European market, must be compliant with EN (European Norm) 50126, or the so-called reliability, availability, maintainability, and safety (RAMS) standards.

Against this background, Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed a battery module that incorporates SCiB™ lithium-ion rechargeable battery cells compliant with safety integrity level 4 (SIL4) of the RAMS standards. This battery module makes it possible to construct storage battery systems targeted at European rolling stock.

1. まえがき

東芝が開発したリチウムイオン二次電池 SCiB™は、自動車や電力貯蔵システムなど様々な分野に適用されている。我が国の鉄道分野では、回生電力の有効活用のための地上設備⁽¹⁾、及び非常走行や架線レス走行のための車両搭載装置⁽²⁾に、省エネ化技術の一つとして、既に活用されている。鉄道分野における蓄電池の利用は、我が国だけでなく海外でも拡大している。欧州を中心とする海外では、鉄道に関わる機器やシステムについて、RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) 規格と呼ばれる鉄道に関する欧州規格 EN 50126 への適合が必要であり、蓄電池システムも対応が求められる。

東芝インフラシステムズ(株)は、鉄道用蓄電池システム向けに、SCiB™を用いた電池モジュールや、BMU (Battery Management Unit) などの電池システムコンポーネントを製品化している。これらを組み込んだ蓄電池システムを RAMS 規格に対応させるために、今回 SCiB™を用いた電池モジュール TypeS と SSU (Safety Supervisor Unit) を開発

した。その結果、ドイツの認証機関より、RAMS 規格の安全度水準 SIL 4 (Safety Integrity Level 4) に適合したリチウムイオン二次電池を用いた蓄電池システムとして、世界で初めて^(注1) 第三者認証を取得した。

ここでは、RAMS 規格の概要とその第三者認証への対応、及び今回開発した電池モジュール TypeS と SSU を搭載した蓄電池システムの概要について述べる。

2. RAMS規格への対応

RAMSとは信頼性 (Reliability)、可用性 (Availability)、保全性 (Maintainability)、及び安全性 (Safety) の略であり、系統的な安全分析とリスク低減により、新技術の鉄道システムへの適用を加速することを目的に定められた。その後、欧州規格を元に、国際電気標準会議 (IEC) により、IEC 62278として国際規格化された。特に欧州では、鉄道事業者の要求仕様や各国による鉄道に関する認定手続きで、RAMS 規格への準拠を要求される。また、RAMS のうちの S である Safety には機能安全が含まれており、

(注1) 2018年7月時点、当社調べ。

表1. RAMS及び関連規格

List of related standards for railway applications

規格番号	題目	説明
EN 50126	Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) –	鉄道システムの安全性や信頼性に関する規格
EN 50128	Railway applications – Communication, signaling and processing systems – Software for railway control and protection systems	鉄道信号システムのソフトウェアの安全性に関する規格
EN 50129	Railway applications – Communication, signaling and processing systems – Safety related electronic systems for signaling	鉄道信号システムの電子装置の安全性に関する規格

の実現のために、ソフトウェアの開発プロセスについてはEN 50128を、ハードウェアの開発プロセスについてはEN 50129を参照している。関連する規格の一覧を表1に示す。

EN 50129では、認定のプロセスとして、適用される用途に依存しないジェネリックプロダクト、適用システムは限定しないが同一の機能を持つ用途に限定するジェネリックアプリケーション、及び特定のシステムへの適用に限定したスペシフィックプロダクトの3種類が定められている。開発した電池システムコンポーネントは、セーフティマニュアルに定めた制約条件の下で、RAMS対応の蓄電池システムとして、様々な鉄道車両で使用可能にするため、ジェネリックアプリケーションとしての認定プロセスに従った。

2.1 安全目標の設定

蓄電池システムをRAMS規格に準拠させるにあたり、安全目標を安全分析により定める。ジェネリックアプリケーションとするため、安全分析では、機関車や旅客車両など複数種類の車両への適用を仮定し、危険源ごとに最悪条件が発生する種類の車両を選択して分析した。その中には、乗客を乗せてトンネル内を走行する電車も含まれており、危険が発生した場合の影響が過酷になるものもある。

この安全分析により、想定される危険源に対して、車両運用者(鉄道事業者)、車両、蓄電池システムが入る機器箱、及び蓄電池システムの安全目標を定めた。安全分析は、蓄電池システムのライフサイクル全般にわたって実施する必要があるため、運用中はもちろんのこと、製造や廃棄の期間も考慮する。

分析の結果、蓄電池システムが達成すべき安全目標として、蓄電池を構成する電池セルの異常を検出した場合に、コンタクター駆動電流を停止してコンタクターを開放する安全機能に関して、SIL 3以上を定めた。コンタクターを開放して充放電電流を停止することにより、危険を防止できる。

2.2 SCiB™の特長を生かした蓄電池システム

蓄電池システムの安全目標を達成するには種々の対策が

求められるが、電池セルとしてSCiB™自体が持つ特長を生かすことで、対策を簡素化できる。

その一つは、SCiB™の材料が内部短絡による発熱を抑制する性質⁽³⁾である。内部短絡は、電池セルの内部で発生する事象であるため、電池セルの外側から発熱やそれに従属した事象を止めることは難しい。これに対し、SCiB™は、内部短絡による発熱を抑制する性質を持つので、機器箱も含めた蓄電池システムとして内部短絡発生に伴う発熱への対策が不要となり、蓄電池システムの構成が容易になる。

もう一つは、SCiB™が低温でも充放電可能な性質⁽⁴⁾である。このため、安全目標として、過温度(高温)時の保護は必要になるが、低温時の保護が不要となる。これによって、安全目標を達成するための監視及び制御のシステムが簡素になり、システムの信頼性を向上させることができる。

2.3 試験

機能安全に対応したシステムの開発では、想定される異常状況の下で、安全機能が正しく機能することを示す必要がある。電池システムコンポーネントの一つである電池モジュールTypeSは、SCiB™を2個並列に接続したセルブロックを12個直列に接続した構成であり、そのセルブロックに対し、それぞれ異常を検出する安全機能を持っている。EN 50129では、動作環境の変化に対する耐性を確認するために、同じ欧州規格であるEN 50155に基づく試験の実施が規定されており、低温試験、高温試験など全部で14種類の試験が必要である。

各試験項目では、それぞれの試験条件下で全ての安全機能が正常に機能することを実証した。安全機能によっては、一つのセルブロックだけ実際に事象を発生させ、それを12セルブロック分繰り返して実証した。

また、EN 50155ではルーチン試験(出荷試験)の実施も定められており、製造したコンポーネントについて安全機能の全数確認を実施している。

3. 蓄電池システムの概要

3.1 仕様

蓄電池システムごとに異なっている、電圧や電池容量への要求に柔軟に対応するため、電池システムコンポーネントとして、電池モジュールTypeS、BMU、SSU、コンタクター、電流センサー、ヒューズ、保守用断路器（サービスディスコネクト）、及び接続ハーネスを用意している。システムインテグレーターは、これらのコンポーネントを組み合わせ、それぞれ必要な蓄電池システムを構成する。

開発した電池モジュールTypeSと蓄電池システムの仕様を表2に、電池モジュールTypeSの外観を図1に示す。電池モジュールTypeSを28個直列に接続したときに、最大定格電圧出力907Vの蓄電池システムを構成できる。蓄電容量を増やしたい場合は、電池モジュールTypeSを並列接続することにより、任意の容量に変更できる。電池モジュール

表2. 電池モジュール TypeSと蓄電池システムの主な仕様
Main specifications of battery module and battery system

項目	仕様	
電池モジュール TypeS	公称電圧	DC 27.6 V
	定格容量	40 Ah
	許容電流(連続)	160 A
	瞬間許容最大電流	350 A (ただし、モジュール温度が55℃を超えないこと)
	電池電圧範囲	DC18.0～32.4 V
	セル構成	2並列、12直列
	耐電圧	DC1,000 V
	最大直列数	28直列
蓄電池システム	公称電圧	最大DC 773 V (28直列時)
	電圧範囲	DC 504～907 V (28直列時)

DC：直流



図1. 電池モジュール TypeS

蓄電池システム向けの、リチウムイオン二次電池を用いたコンポーネントとして、世界で初めてRAMS規格に対応した。

“TypeS” battery module

TypeSでは、直列数が1～28個、並列数が1～5並列の任意の構成が可能である。

3.2 構成

蓄電池システムの構成を図2に示す。システムの制御系は大きく分けて、RAMS規格に関わる部分である安全関連系と、RAMS規格に関わらない部分である非安全関連系から構成されている。

3.2.1 安全関連系

安全関連系は、SSU、電池モジュールTypeSに内蔵される回路であるCMU (Cell Monitoring Unit) の安全関連系部分、及びコンタクターから構成される。CMU上には電池モジュールTypeS内のセルブロックごとに異常を監視する回路がある。この監視回路は、隣の電池モジュールTypeSから受信した生存信号(隣の電池モジュールTypeSで異常が検出されていないことを示す信号)の状態判別結果と、自身の電池モジュールTypeS内の電池セルの異常検出結果から、両方正常なときだけ次の電池モジュールTypeSに対して生存信号を出力する。CMUには、AとBの二つの監視回路が搭載され、冗長構成となっている。このようにして二つの監視回路からそれぞれ出力された生存信号は、後段の電池モジュールTypeSへ伝達され、数珠つなぎの最後尾にある電池モジュールTypeSの生存信号は、SSUへ出力される。

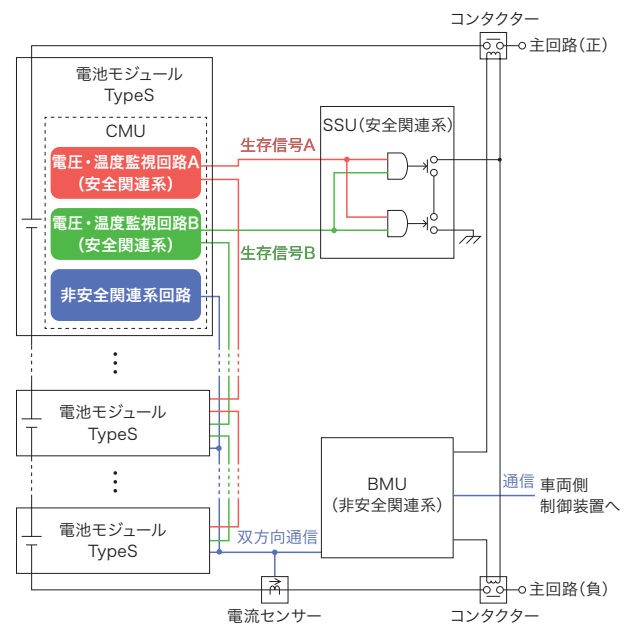


図2. 蓄電池システムのブロック図

RAMS規格に適合させるため、安全関連系を冗長構成にした。

Block diagram of battery system

SSUは、受信したA・B二つの生存信号の状態をそれぞれ判別し、両方正常状態であったときだけコンタクター駆動コイルの駆動電流を通電する。SSUも、内部に独立した二つの系を構成しており、生存信号の判別とコンタクター駆動コイル電流の遮断について冗長構成となっている。

このように、電池セルの異常検出からコンタクター駆動コイルの駆動電流の遮断に至るまで、全ての要素を冗長化し、電池セルの異常を検出したときに充放電を停止する機能をSIL 4で実現した。

3.2.2 非安全関連系

非安全関連系は、BMU、及びCMUの非安全関連系部分から構成されている。非安全関連系は、当社の従来製品で実績のある電池システムコンポーネントを使用した蓄電池システム⁽⁵⁾と同様の構成である。具体的には、CMUで測定した、電池モジュールTypeS内のセルの電圧及び温度のデータを、双方向通信によりBMUへ通知する。BMUは、電池モジュールTypeS及び電流センサーの情報から、SOC (State of Charge) をはじめとする電池セルの状態を把握する。

更にBMUは、車両の制御装置と通信線で接続され、蓄電池システムの状態を通知するとともに、車両の制御装置からの起動及び停止指令を受信してコンタクターの開閉を行う。

4. RAMS 認証の取得

ジェネリックアプリケーションの認証プロセスに従って、前述のような蓄電池システムに対する認証試験を実施し、RAMS規格の第三者認証を取得した(図3)。

システムインテグレーターは、認証された蓄電池システムの電池システムコンポーネントを使用することで、ジェネリックアプリケーションとしてRAMS規格に準拠した鉄道用蓄電池システムを構成できる。



図3. RAMS 規格に対する認証マーク

ドイツの認証機関から、RAMS 規格適合に対する第三者認証を取得した。

Test mark showing compliance with RAMS standards

5. あとがき

安全性・信頼性において、国内外で高い評価を得ている SCiBTMが、RAMS 規格に対する第三者認証を取得したことで、その安全性と信頼性を改めて実証できた。今回開発した電池システムコンポーネントをベースに、SCiBTMが鉄道分野へ更に普及することが期待される。

文献

- (1) 廣田航介. SCiBTMを用いた鉄道車両向け車上蓄電システム. 東芝レビュー. 2016, 71, 4, p.16-19. <http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/04/71_04pdf/a05.pdf>, (参照2018-03-28).
- (2) 佐竹信彦, ほか. 鉄道向け再生電力蓄電システム. 東芝レビュー. 2014, 69, 8, p.52-55.
- (3) 小杉伸一郎, ほか. 安全性に優れた新型二次電池 SCiBTM. 東芝レビュー. 2008, 63, 2, p.54-57.
- (4) 伊藤康行, ほか. 電動二輪車用 SCiBTM バッテリーシステム. 東芝レビュー. 2011, 66, 2, p.50-53.
- (5) 小杉伸一郎, ほか. 社会インフラ向け 大規模蓄電池システムを支える基幹コンポーネント. 東芝レビュー. 2014, 69, 4, p.45-49.

・ TÜV Rheinland の名称、及びロゴは、TÜV Rheinland AG の商標。



黒田 和人 KURODA Kazuto
東芝インフラシステムズ(株)
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
電気学会・計測自動制御学会会員
Toshiba Infrastructure Systems and Solutions Corp.



高橋 潤 TAKAHASHI Jun
東芝インフラシステムズ(株)
府中事業所 鉄道システム部
Toshiba Infrastructure Systems and Solutions Corp.



萩原 敬三 HAGIWARA Keizo
東芝インフラシステムズ(株)
鉄道システム事業部 車両システム技術部
日本機械学会・自動車技術会会員
Toshiba Infrastructure Systems and Solutions Corp.