

鉄道車両に適したリチウムイオン二次電池 SCiB™の活用

Effective Utilization of SCiB™ Lithium-Ion Battery to Meet Needs of Rolling Stock

吉川 賢一 KIKKAWA Kenichi 田坂 洋祐 TASAKA Yosuke

近年、鉄道分野では、脱炭素化、高効率化、及び省エネなどに関する社会的な要請が高まっており、喫緊の対応が必要である。また、災害への対応能力の向上などインフラ強靱（きょうじん）化も求められている。

東芝インフラシステムズ（株）は、高入出力特性に加え、安全性、耐久性、長寿命、急速充電などに優れた東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™を鉄道車両に適用することで、環境負荷の低減に対応するとともに、大規模停電発生時の給電喪失下において、車両を自力走行させて安全な場所まで退避したり、車内設備へ電源を供給したりすることを実現した。

Railway companies in Japan have recently been facing the issue of reducing their environmental burden in response to the social requirements for decarbonization, high energy efficiency, and energy saving, as well as enhanced robustness of railway infrastructure in the event of a disaster.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has responded to this situation by making use of the features of its SCiB™ lithium-ion battery including safety, durability, long life, and fast charging in addition to high power output. Through its application to rolling stock, the SCiB™ is contributing to reduction of the environmental burden in this sector. Moreover, in the event of a loss of external power supply including that due to a large-scale blackout, the SCiB™ can supply power not only to the electrical equipment on rolling stock but can also provide sufficient power to allow rolling stock to be moved to a safe location.

1. まえがき

近年、脱炭素化や省エネなどの社会的な要請が、一段と高まってきている。

鉄道車両では、従来よりも高効率で省エネな車両システムが求められている。そうしたシステムを実現する手段の一つとして、蓄電池を用いた新たなソリューションの発展が目覚ましい。蓄電池を用いることで、鉄道車両では、ブレーキを掛けた際にモーターで発電した電力（回生電力）を有効活用することによる省エネや、気動車のハイブリッド化（ディーゼルエンジン発電機による発電と、蓄電池からの電力アシストによるモーター駆動）による環境負荷低減などが可能になる。更に、災害対応能力として、自然災害などによる大規模停電が発生した場合に、照明などの車内設備への電源供給、トンネルや橋梁（きょうりょう）などからの退避が可能となることから、乗客の安全・安心にもつながる。特に、鉄道車両向け蓄電池ソリューションでは、高い安全性と、頻繁に繰り返される充放電に耐えられる長寿命が必須の条件となる。東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™は、こうした要求に応える優れた性能を備えている^{(1),(2)}。ここでは、その SCiB™の特性と鉄道車両への適用技術・事例について述べる。



図1. SCiB™の六つの特長

SCiB™は、安全性、長寿命、急速充電、高入出力、低温性能、及び広い実効SOCレンジという、六つの優れた特長を持っている。

Six outstanding features of SCiB™

2. SCiB™の特性

SCiB™は、図1に示すように、安全性、長寿命、急速充電、高入出力、低温性能、及び広い実効SOC（State of Charge：充電状態）レンジという、六つの優れた特長を持っている。

2.1 安全性

鉄道において、最も重要な項目である。特に、SCiB™は、負極にチタン酸リチウム（LTO）を採用している。内部短絡時

には、負極層のLTOが高抵抗な相に変化して電流が流れにくくなるため、破裂・発火を起こしにくい特性を持っている。

2.2 長寿命

15,000回の充放電（温度：25℃，SOC：0～100%，レート：3C^(注1)）後も、80%以上の容量を維持する。また、一定電圧が掛かり続けるフロート充電でも劣化が少なく、バックアップ電源などの用途でも、安心して使用可能である。

2.3 急速充電

大電流での充電特性が良好なため、6分間で80%以上の急速充電が可能である。

2.4 高入出力

大電流での充放電が可能のため、鉄道や自動車の減速時に発生する大きな回生電力を蓄え、モーターの始動に必要な大電流を供給できる。

2.5 低温性能

低温で充電しても金属リチウムが析出しないため、-30℃の低温環境下での繰り返し充放電が可能である。

2.6 広い実効SOCレンジ

高SOC及び低SOCの使用でも劣化が少なく、高/低SOCで使用できるため、蓄電システムにおける電池搭載量の効率化が可能である。

3. SCiB™の特性と鉄道システムへの活用

SCiB™は、鉄道システムに求められる“安全性”、“長寿命”、及び“屋外での過酷な環境下での稼働”に対応できる特長がある。回生電力の有効活用による省エネや、気動車のハイブリッド化による環境負荷低減、自然災害などの非常時対応などが可能となる⁽³⁾。

3.1 回生電力の有効活用による省エネ

3.1.1 東京地下鉄（株）の丸ノ内線2000系への適用

丸ノ内線2000系では、**図2**に示すように、SCiB™を用いた蓄電池に回生電力を吸収し、**図3**に示すように、その電力を力行時のアシストとして使用する。2000系では、主制御器のINV（インバーター）のスイッチング素子に高効率のSiC（炭化ケイ素）を採用し、回生可能電力を増大させた。また、駆動用モーターに永久磁石同期電動機（PMSM）を採用し、駆動用モーターの高効率化、及び回生性能の向上を実現した。そして、これら回生電力の余剰分をSCiB™に蓄電し、車両の加速時に活用する。この結果、従来（丸ノ内線02系改修車）と比較して、消費電力量の27%削減を達成した。

また、自然災害などによる大規模停電が発生した場合は、

(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。

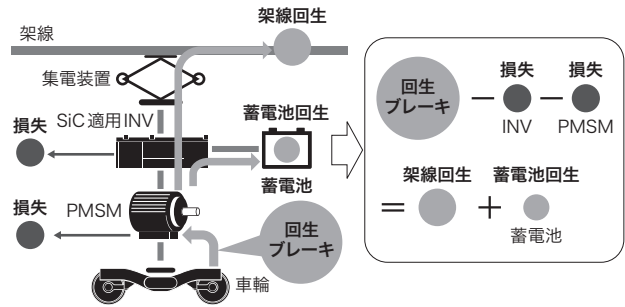


図2. ブレーキ時の回生電力の蓄電

ブレーキ時に発生する回生電力を架線へ返すとともに、余剰分を蓄電池に蓄える。

Mechanism for charging regenerative brake energy

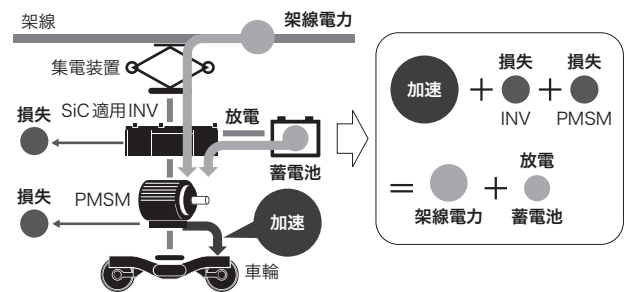


図3. 加速アシスト時の蓄電電力の利用

回生電力を蓄えた蓄電池から、電力のアシストを行う。

Utilization of stored regenerative energy for acceleration assistance power

この蓄電池を用いることで、最寄り駅まで走行できる。更に、車庫内で自力走行もでき、安全性確保の一助となり得る。

3.1.2 小田急電鉄（株）5000形への適用

5000形にSCiB™を搭載し、架線を通して回生電力を吸収できる鉄道車両が付近に存在しない場合でも、自車で回生失効しないようにSCiB™を用いた蓄電池に回生電力を吸収し、その電力を補助電源装置のアシストとして使用する。

このシステムは、**図4**に示すように、回生失効電力を補助電源装置の出力として、INVを介して蓄電池に蓄える。その電力は補助電源装置の出力と協調し、補助電源装置をアシストする。このように回生失効の電力を蓄電池に吸収することにより、回生ブレーキの適用範囲の拡大が図れる。蓄えられた電力は、補助電源装置と協調して補助電源として有効活用できる。また、架線電力の喪失時には、車内設備へ電力を供給し、照明などのサービスを維持できる。

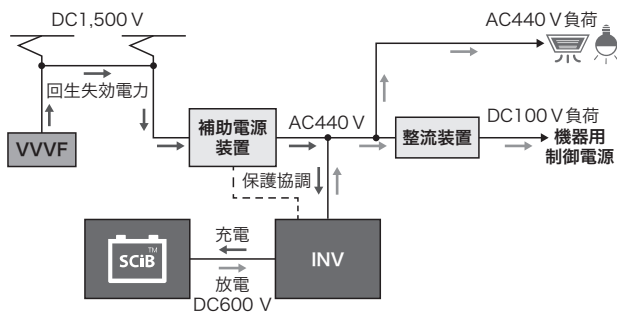
3.2 気動車のハイブリッド化

3.2.1 西日本旅客鉄道（株）87系への適用

87系「TWILIGHT EXPRESS 瑞風」(以下、瑞風と略記)は、小型ハイブリッド駆動システムで構成されている⁽⁴⁾。

図5に、瑞風における駆動システムの概略を示す。

力行時は、ディーゼルエンジン発電機による発電電力と SCiB™による電力アシストによって、モーターを駆動する。ブレーキ時は、モーターの回生電力を SCiB™に蓄え、次の



- 回生充電：回生失効分を補助電源の出力としてINVを介して充電
 - 補充充電：必要に応じて架線から補助電源の出力としてINVを介して充電
 - 通常放電：補助電源と連携してAC440V系統へ給電
 - 非常放電：バッテリーだけでAC440V系統へ給電
- DC：直流 AC：交流 VVVF：可変電圧可変周波数

図4. 回生吸収と補助電源装置のアシットの概要

回生電力を補助電源装置の出力としてINVを介して蓄電池に吸収させ、その電力を補助電源装置のアシストとして活用する。また、架線電力の喪失時には、車内設備へ電力を供給し、照明などのサービスを維持できる。

Outline of regenerative energy absorption and assistance to auxiliary power supply

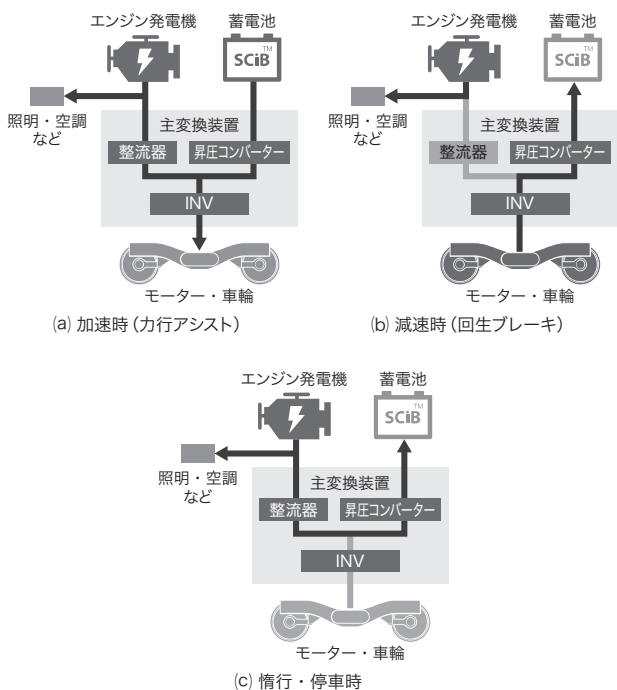


図5. 小型ハイブリッド駆動システムの動作概要

車両が走行する際は、蓄電池からの電力をアシストとして利用する。蓄電池の電力は、回生電力を蓄えるとともに、蓄電池のSOCにより惰行時や停車時にエンジン発電機により蓄電を行う。

Operations of compact hybrid propulsion system

アシストに備える。また、惰行・停車時は、SOCが低い場合、エンジン発電機で発電した電力で充電する。

蓄電池は、SCiB™の採用で、回生電力量と力行アシスト領域の拡大、並びに燃費の向上に貢献した。燃費が向上したことにより、瑞風の運行区間である新大阪・大阪～下関間を無給油で走行可能となった。

3.2.2 東海旅客鉄道(株)HC85系(試験走行車)への適用

図6に示すように、従来の特急ひだ及び特急南紀に使用している85系気動車(2台のエンジンにそれぞれで、多段の変速機を通して電力を直接車輪に伝える方式)に対し、HC85系(試験走行車)ではエンジンで発電した電力とブレーキ時に蓄電池に蓄えた電力でモーターを駆動して走行するシリーズハイブリッド駆動方式を採用した^{(5), (6)}。

ハイブリッドシステムの動作モードとしては、力行時、ブレーキ時、及び駅停車時の三つがある。力行時は、エンジンで発電機を回し、この発電機からの電力と蓄電池に蓄えた電力でモーターを駆動する。一方、ブレーキ時は、回生電力を空調や照明などに使用するとともに、蓄電池にも充電する。駅停車時は、エンジンを停止(アイドリングストップ)し、ブレーキ時に蓄電池に充電した電力を車内の空調や照明などに使用することで、排出ガスや騒音が抑制でき、ホーム上や駅周辺環境改善につながる。

また、モーターと発電機の両方に全閉PMSMを採用した。エンジン出力を車輪に伝える効率が向上し、有効に利用できる。その結果、モーター及び発電機に開放型の誘導機を使用した従来のハイブリッドシステムと比較して、効率が10%向上した。この高い変換効率と蓄電池からの電

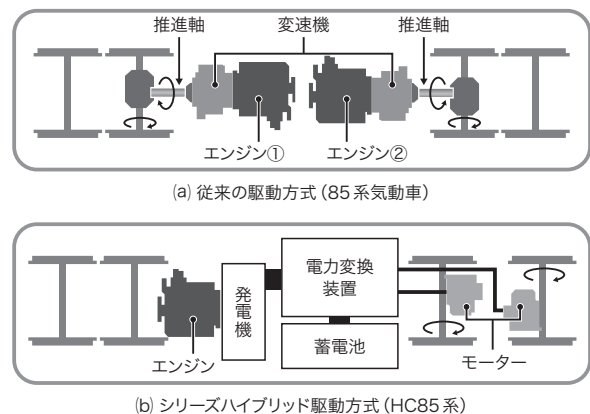


図6. 従来の駆動方式とシリーズハイブリッド駆動方式の比較

従来の駆動方式(85系気動車)は、エンジンを2台搭載していたが、シリーズハイブリッド駆動方式(HC85系)は、エンジンを1台にし、そのエンジンに発電機を組み合わせて発電した電力と、蓄電池の電力でモーターを駆動する。

Comparison of current and series hybrid propulsion systems

力アシストによって、ハイブリッド車両として国内初^(注2)の120 km/hでの運転を実現した。また、燃費は現行気動車に比較して、約35%向上することが可能となった。

3.3 自然災害などによる非常時対応

3.3.1 新幹線への適用⁽⁷⁾

東海旅客鉄道(株)の東海道新幹線・新型車両N700Sに、SCiB™を適用した蓄電池自走システムを高速鉄道として世界で初めて搭載^(注3)した。図7に示すように、自然災害などによる長時間停電時にも、乗客の避難が容易な場所まで自力走行が可能となり、東海道新幹線の異常時における対応能力の向上に大きく貢献できる。また、検査修繕時における車両移動や、車内電源として活用できる。

蓄電池は、通常はパンタグラフから補助電源装置を介して充電される。架線停電などの電力喪失時には、蓄電池自走システムが、補助電源装置から蓄電池を切り離し、蓄電池から駆動システムへ電力を供給する回路を構成する。

3.3.2 地下鉄への適用

東京地下鉄(株)の銀座線1000系に、SCiB™を適用した非常走行用蓄電池を搭載した。自然災害などによる長時間停電時にも、乗客の避難が可能な最寄り駅までの自力走行が可能となり、異常時における対応能力の向上に貢献できる。

3.3.3 在来線への適用

東日本旅客鉄道(株)の横須賀・総武快速線E235系では、自然災害による停電などの異常時を想定し、最寄り駅

などまで走行可能な非常走行用電源装置を搭載した。この装置は、通常時には架線からの電力を蓄電池に蓄え、非常時には蓄電池の電力だけで主電動機を駆動して走行できる。平たんな区間で10 km程度を走行可能な性能を持ち、走行試験では、一定の急勾配区間の登坂走行も可能であることを確認した。

4. あとがき

市場から要求される、更なる省エネへの貢献と災害対応力の向上に向けたSCiB™の鉄道車両への適用技術・事例について述べた。

今後も、近年期待されている地上側メンテナンスの省力化や保守費削減が可能な架線レスシステムに加え、CPS(サイバーフィジカルシステム)技術を用いた蓄電池の状態監視などにもSCiB™を幅広く展開し、鉄道システムの発展に貢献していく。

文献

- (1) 東芝.“SCiB™とは”. 二次電池SCiB™. <<https://www.global.toshiba.jp/products-solutions/battery/scib/about.html>>, (参照 2021-03-25).
- (2) 黒田和人, ほか. RAMS規格の安全度水準SIL 4に適合したSCiB™蓄電池システム. 東芝レビュー. 2018, 73, 5, p.86-89. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2018/05/73_05pdf/f06.pdf>, (参照 2021-03-25).
- (3) 廣田航介. SCiB™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. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2016/04/71_04pdf/a05.pdf>, (参照 2021-03-25).
- (4) 島田直人, ほか. “87系TWILIGHT EXPRESS瑞風用気動車の駆動システムの開発”. 第54回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集. 東京, 2017-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会, 2017, 論文番号502. (CD-ROM).
- (5) 佐竹信彦, 今井桂一郎. 持続可能な鉄道システムの構築に寄与するリチウムイオン二次電池SCiB™を用いた蓄電ソリューション. 東芝レビュー. 2020, 75, 4, p.7-10. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2020/04/75_04pdf/a03.pdf>, (参照 2021-03-25).
- (6) 河野真也, ほか. “HC85系(試験走行車)用ハイブリッド駆動システムの開発”. 第57回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集. 東京, 2020-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会, 2020, 論文番号502. (CD-ROM).
- (7) 加藤宏和, 佐藤賢司. 高速鉄道車両でのバッテリー自走システムについて. 電気学会論文誌D. 2020, 140, 5, p.349-355.

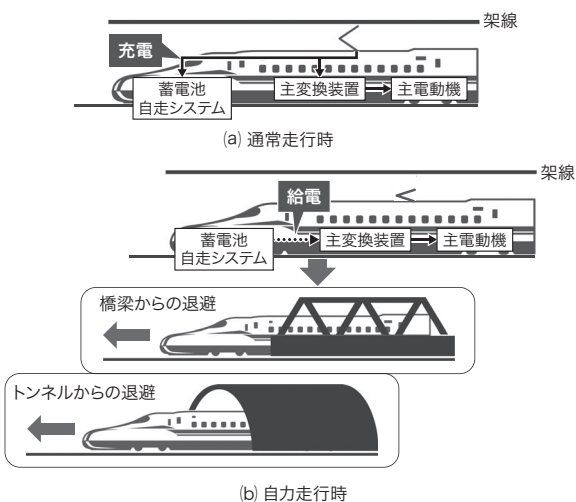


図7. 蓄電池自走システムの概要

通常走行時は蓄電池に充電を行い、停電が発生した場合は蓄電池の電力で自力走行して橋梁やトンネルから退避し、安全な場所へ移動できる。

Outline of battery-based self-propulsion system

(注2) 2020年3月時点, 当社調べ。

(注3) 2019年7月時点, 当社調べ。



吉川 賢一 KIKKAWA Kenichi
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
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



田坂 洋祐 TASAKA Yosuke
東芝インフラシステムズ(株)
府中事業所 鉄道情報システム部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.