

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

Energy Storage Solutions Utilizing SCiB™ Lithium-Ion Rechargeable Batteries Contributing to Realization of Sustainable Railway Systems

佐竹 信彦 SATAKE Nobuhiko 今井 桂一郎 IMAI Keiichiro

鉄道システムでは、SDGs (Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標) や ESG (Environment, Social, Governance) の観点から、回生電力を有効活用した省エネソリューションや、停電などの非常時にも走行できる強靱なシステムのニーズが高まっている。

東芝インフラシステムズ(株)は、これらのニーズに応えるため、東芝独自の蓄電媒体である SCiB™ を用いた鉄道向け蓄電システムを、地上側の電力供給設備及び車上駆動設備のそれぞれについて製品化し、提供している。その一環として、今回、地上用には、複数の回生電力貯蔵装置 (TESS) を連系運用することで、広域停電時においても非常走行が可能なシステムを沖縄都市モノレールに構築した。一方、車上用としては、エンジン動力と回生によるエネルギーを SCiB™ に蓄えモーター駆動に利用するハイブリッド駆動システムを開発し、東海旅客鉄道(株)(以下、JR 東海と略記)に納入した。

Reflecting the growing importance of the Sustainable Development Goals (SDGs) and environmental, social and governance (ESG) criteria, there has been an increase in demand in the field of railway systems not only for energy-saving solutions effectively utilizing regenerative electric power, but also for resilient systems allowing continuous operation even in an emergency such as a power outage.

In response to this trend, Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has been developing power storage systems using SCiB™ lithium-ion rechargeable batteries and supplying them to a number of railway companies in Japan and other countries. Such systems comprise both ground facilities supplying electricity and on-vehicle driving equipment. As part of these efforts related to ground facilities, we have constructed a control system for Okinawa Urban Monorail, Inc. that makes emergency operations possible even in the event of a wide-area blackout through the interconnected operation of three sets of traction energy storage systems (TESS). In the area of on-vehicle equipment, we have developed a hybrid driving system to convert engine power and regenerative electric power into motor driving force using SCiB™ batteries and have delivered it to Central Japan Railway Company.

1. まえがき

近年、従来にも増して、省エネ性が高く安定した社会システムの構築が、社会的要請として重要になっている。鉄道システムについても同様であり、現状より効率が高く省エネで、かつ災害などにも対応できる強靱性を持った、車両システムや電力供給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、蓄電池を用いたソリューションの発展が目覚ましい。特に、鉄道システムには電車がブレーキを掛けたときに回生エネルギーを発生させる仕組みがあり、このエネルギーをいかに活用していくかがポイントになる。一方で、自然災害などにより大規模停電が発生すると、安定した鉄道運行ができなくなるリスクがある。特に、橋梁(きょうりょう)やトンネル内で列車が停止したままになると乗客の避難も困難となる。その対策として、車載

又は地上蓄電設備から電力供給することで、停電時にも最寄り駅まで安全に列車を移動させることができる。

このような鉄道向け蓄電池ソリューションに適用する蓄電媒体に求められる性能としては、安全性が高く、かつ繰り返しの充放電に耐えられるなど長寿命であることが必須となる。東芝のリチウムイオン二次電池 SCiB™ はこうした要求に対して優れた性能を備えているため、多くの顧客から採用されている。

ここでは、東芝インフラシステムズ(株)が提供する SCiB™ を用いた鉄道向け蓄電ソリューションの最新の例として、まず2章で地上蓄電システムに関して、広域停電時においても非常走行が可能な回生電力貯蔵装置 (TESS : Traction Energy Storage System) の連系運用技術について述べる。続く、3章では、車上システムに関して、エンジン動力と回

生によるエネルギーをSCiB™に蓄えモーター駆動に利用するハイブリッド駆動システムの事例について述べる。

2. 沖縄都市モノレール向けTESS

沖縄都市モノレール(通称ゆいレール)は、2017年に定格500 kW、291 kWhのTESS 1セットを広域停電時の非常走行用電源として当社より導入した⁽¹⁾。しかし、利用客数は、2003年の31,905人に対して2017年には49,716人と1.5倍に増加し、ダイヤ改正などによる輸送力の見直しが必要となった。更に、開業当初12.9 kmだった路線を、首里駅からだこ浦西駅間の4.1 km延長したことに伴い、広域停電発生時に在線する車両編成数は、当初想定していた12編成から19編成まで増加することになった。そのため、広域停電が発生した場合、その時点で稼働している末吉変電所のTESSだけでは、定格出力の関係で緊急退避に長時間を要することが想定された。そこでゆいレールは、非常走行用電源供給能力の強化を目的としたTESSを新たに2台増設し、2019年10月1日に運用を開始した。

2.1 非常走行電力供給能力の向上

TESSの必要数量と配置場所の検討には、非常時の退避時間25分以内を条件としてシミュレーションを実施した。その結果、同路線末端の安次嶺変電所と浦西変電所の2か所への増設で条件を満たすことを確認した。表1に路線に対するTESSの機器仕様を、図1には設置したTESSの外観を示す。

2.2 起動操作の改善

非常時には、通常運用から非常運用モードへの切り替えと起動操作がTESSごとに必要となる。緊急の対応が必要ときに複雑な手順を短時間で遂行しようとすると、誤操作につながり、電源供給までにかえて時間を要することが想定された。

そこで、簡易な操作環境を提供するために、リモートコントロールシステム(以下、RCと略記)を導入した。RCは産業用パソコンとPLC(Programmable Logic Controller)から構成され、同一画面上で全てのTESSの状態を把握しながら、ボタン操作一つで連系運転できる。平常時には、遠隔モニターとして保守業務に活用できる。図2に装置の外観と液晶画面の表示例を示す。

2.3 TESS制御電源の改善

TESSの貯蔵電力からTESS自身の制御用電源を作り出す補助電源装置(APU: Auxiliary Power Unit)を、新規に開発して導入した(図3)。従来は、制御用電源を鉛蓄電池などの外部電源から供給していたが、TESS内のAPUで生成できる。これにより外部電源の供給がなくてもTESS

表1. TESSの機器仕様

Specifications of TESS

	末吉SS	安次嶺SS	浦西SS
定格出力	500 kW		
瞬時出力	—	1,000 kW	
電池容量	291 kWh/SS (3台計874 kWh)		
SOC使用範囲	5 ~ 90 % (通常走行, 非常走行とも仕様)		

SS: 変電所 SOC: 充電状態



図1. ゆいレールに設置したTESS

ゆいレールの既設の1変電所に加えて、新たに2変電所にTESSを増設した。

TESS installed at Okinawa Urban Monorail

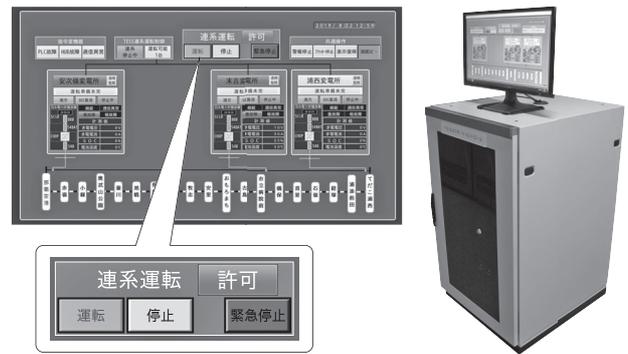


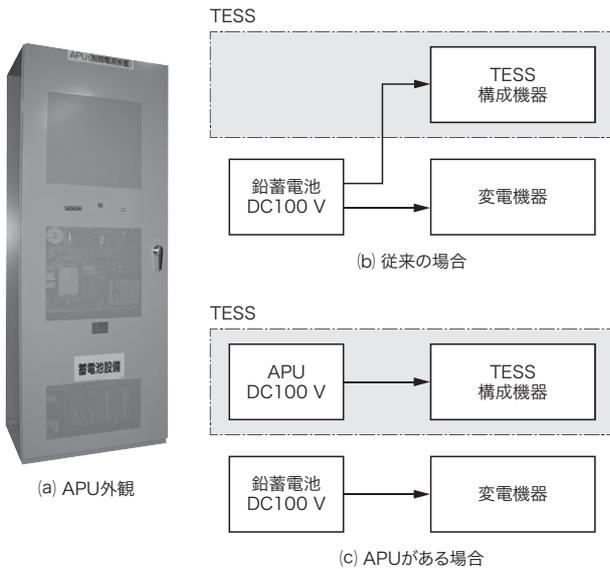
図2. リモートコントロールシステム

非常時には同一画面上で全てのTESSの状態を把握しながら、ボタン操作一つで連系運転でき、平常時も遠隔モニターとして保守業務に活用できる。

Remote controller of TESS

を稼働させ、非常走行電力を供給できるようになった。また、TESSの導入時に鉛電池設備を増強する必要がなくなった。

当社はこのような要素をTESSに随時追加し、広域停電など不測の事態が発生した場合でも、鉄道の運行を継続させ



DC:直流

図3. APUを用いた制御用電源の供給

APUの導入により、TESSの貯蔵電力からTESS構成機器に制御用電源を供給して稼働させることができる。

Power supply to control TESS using auxiliary power unit (APU)

ることのできる“強靱なインフラ”を実現するシステム作りに貢献していく。

3. JR東海HC85系向け新型ハイブリッド駆動システム

JR東海では、特急ひだ及び特急南紀に使用している85系気動車の取り替えに備え、ハイブリッド方式による次期特急車両であるHC85系の計画を進めており、2019年12月に試験走行車が完成した。このHC85系の試験走行車には、当社が新たに開発したハイブリッド駆動システムが採用されており、小型で高効率であることが特長である。図4にHC85系の外観を示す。この章では、開発したハイブリッド駆動システムの概要と、蓄電システムについて述べる。

3.1 システムの概要

従来の85系気動車は、エンジンの動力を多段の変速機を通して直接車輪に伝える方式を採用している。一方、HC85系では、この方式を改め、エンジンで発電した電力及びブレーキ時などに蓄電池に蓄えた電力によりモーターを駆動して走行する、シリーズハイブリッド方式を採用した。それにより、従来の気動車特有の多段変速式トルクコンバーターやプロペラシャフト（推進軸）が不要となり、安全性や、信頼性、快適性などの向上、更には省メンテナンスが可能となる。

図5にハイブリッドシステムの各動作モードにおける電力の流れを示す。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ためた電力でモーターを駆動す



写真提供:東海旅客鉄道(株)

図4. HC85系試験走行車

当社が新たに開発した小型で高効率なハイブリッド駆動システムが採用されている。

HC85 series test vehicle of Central Japan Railway Company

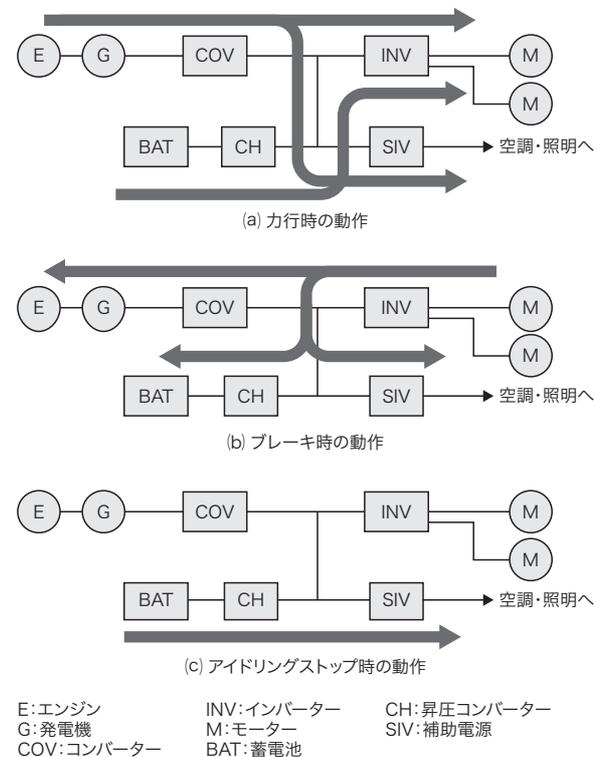


図5. 力行時、ブレーキ時及びアイドルストップ時の動作

力行時はエンジンで発電機を回し、発電した電力でモーターを駆動する。ブレーキ時はモーターで発電した電力（回生電力）を蓄電池に充電する。アイドルストップ時は、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。

Flow of electricity in case of propulsion, regeneration, and idling stop modes of HC85 series test vehicle

る（図5(a)）。一方ブレーキ時は、モーターで発電した電力（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。更に回生電力が上回る場合は、その余剰電力分は、コンバーターと発電機を経由して、エンジンの排出

ブレーキで消費する(図5(b))。そして駅停車中はエンジンを停止(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。アイドリングストップを行うことで、省エネ性の向上だけでなく、排出ガスや騒音の抑制で、ホーム上や駅周辺の環境にも配慮できる(図5(c))。

3.2 永久磁石同期機の採用

HC85系用に当社が納入したハイブリッド駆動システムは、鉄道用として国内で初めて^(注1)モーターと発電機の両方に全閉式永久磁石同期機を採用した⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。それぞれ定格効率97%を実現する高効率な回転機で、エンジン出力を車輪に伝える効率は、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10%以上向上しており、エンジン出力を有効に利用できる。

3.3 蓄電システム

このハイブリッド駆動システムの蓄電池は、SCiB™を用いており、発電機制御用コンバーターとモーター駆動用インバーターの間にある直流リンク部に昇圧コンバーターを介して接続している。

充放電を行うと蓄電池は発熱するため、このハイブリッドシステムのように絶えず充放電を行う場合、蓄電池の冷却が必要となる。そこで新たに蓄電池用の水冷システムを開発した。内部に水路を設けたアルミニウムプレートに蓄電池を設置することで、効率的に冷やすとともに、強制風冷で必要な蓄電池用の風洞を不要にして、高密度配置を可能にした。また、水冷のパワーユニットと蓄電池の熱交換器を一体化し、冷却ファンを共通にしたことで、蓄電システム全体の小型化を実現した。小型化により車両制御装置内に蓄電システムを収納できたことで、全ての駆動システムを車両の床下に搭載することが可能となった。

HC85系試験走行車は2019年12月から走行試験を行っており、現在まで特に大きなトラブルもなく試験を進めている。

(注1) 2020年3月時点、当社調べ。

4. あとがき

当社が鉄道向けに開発を進めている蓄電ソリューションの地上側(TESS)及び車上側(ハイブリッド駆動システム)における最新事例について述べた。当社は、持続可能な社会に貢献するため、今後も蓄電ソリューションを幅広く展開し、鉄道システムの価値向上に貢献していく。

文献

- (1) 伊藤房男, ほか. 沖縄都市モノレールにおける回生電力貯蔵装置の導入に伴う効果の検証試験. 東芝レビュー, 2016, 71, 4, p.32-35. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/04/71_04pdf/a09.pdf>, (参照 2020-04-03).
- (2) 村上 理, ほか. 環境に配慮した鉄道車両用主電動機. 東芝レビュー, 2009, 64, 9, p.10-14.
- (3) 田坂洋祐. 鉄道車両用PMSM主回路システム. 東芝レビュー, 2013, 68, 4, p.23-26.
- (4) 門岡昇平. 省エネ性能を追求した鉄道車両用主回路システム. 東芝レビュー, 2016, 71, 4, p.8-11. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/04/71_04pdf/a03.pdf>, (参照 2020-04-03).



佐竹 信彦 SATAKE Nobuhiko
東芝インフラシステムズ(株)
鉄道システム事業部 鉄道システム技術部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



今井 桂一郎 IMAI Keiichiro
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.