

省エネで安全かつ強靱な鉄道インフラを構築する 回生電力貯蔵システム

Traction Energy Storage Systems Supporting Energy-Saving, Safe, and Resilient Railway Infrastructure

佐竹 信彦 SATAKE Nobuhiko

鉄道は環境負荷の低い移動手段と考えられているが、近年、SDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）の観点から、更に省エネで安全かつ強靱（きょうじん）なインフラとして社会に貢献することが求められている。

東芝インフラシステムズ(株)は、東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ を採用した地上向け回生電力貯蔵システム（Traction Energy Storage System：TESS）を開発し、鉄道事業者に提供している。今回、沖縄都市モノレール株式会社が運行するゆいレールにおいて、当社製 TESS は高い省エネ性能を示すとともに、広域停電時にも迅速に列車を最寄り駅まで走行できることを確認した。また、東武鉄道株式会社において、バッテリーポストとして実運用中の TESS に採用されている SCiB™ モジュールの劣化度合いを調査し、長期使用が期待できることも確認した。このような多用途に用いられる TESS は、国内だけでなく、海外の鉄道インフラにも適用が始まっている。

Railway systems are positioned as a key means of transportation for reduction of the burden on the environment and are expected to contribute to the realization of railway infrastructure with enhanced energy saving, safety, and resilience from the viewpoint of achieving the Sustainable Development Goals (SDGs).

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has been developing traction energy storage systems (TESS) equipped with its SCiB™ lithium-ion battery and supplying them for use in railway ground systems. We have confirmed that the TESS supplied to the Yui Rail Line of Okinawa Urban Monorail, Inc. achieves high energy-saving performance, as well as ensuring an emergency power supply to propel rolling stock to the nearest station in the event of a wide-area blackout. Through sampling inspections of our SCiB™ battery modules for the TESS of Tobu Railway Co., Ltd. operating as a battery bank, we have also confirmed that the TESS can achieve stable long-term operations. The application of TESS to railway infrastructure is now beginning in both the Japanese and overseas markets.

1. まえがき

国連総会で2015年に採択されたSDGsへの取り組みが国際社会に広がっており、我が国においても多くの企業・団体がその取り組みを加速させている。鉄道業界でもその動きは同様であり、特に脱炭素化をキーワードとする省エネで、安全かつ強靱なインフラ構築という観点から、様々な試みが検討されている。

東芝インフラシステムズ(株)は、このようなニーズに応えるソリューションの一つとして、蓄電池を活用したシステムを開発し、これまでに国内外の様々な鉄道事業者に提供している。当社が開発した蓄電システムは、これまで培ってきた鉄道技術と、安全性が高く、かつ長寿命で繰り返し充放電に耐えられる SCiB™ の組み合わせにより、鉄道システムに要求される過酷な条件をクリアする製品となっている。中でも、地上側に設置する蓄電システムとして、TESSがある。

TESSは図1に示すように、鉄道車両の減速時に発生する回生エネルギーを電力に変換して、架線を介して地上側に

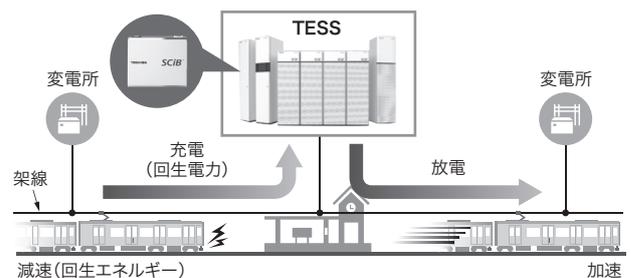


図1. TESSの仕組み

TESSは、車両減速時に発生する回生エネルギーを電力に変換して地上側の蓄電池に貯蔵し、加速時に再利用する。省エネ用途だけでなく、停電時の非常走行用電源や変電所代替設備としても活用できる。

Mechanism of TESS

設置した蓄電池に貯蔵し、ほかの鉄道車両の加速時に再利用するシステムである。従来、熱として捨てられていた回生電力を再利用することによる省エネ効果だけでなく、停電などの非常時に列車に電力を供給する非常走行用電源としても活用することができる。更に、TESSをバッテリーポストと

して活用し、変電所の代替設備として使用することもできる。
 ここでは、国内外でのTESSの適用事例、及び実運用中のTESSに採用しているSCiB™モジュールの劣化度合いの調査において良好な結果が得られたことについて述べる。

2. ゆいレールに導入されたTESS

2.1 消費電力量の削減

沖縄都市モノレール株式会社が運行するゆいレールでは、2017年に定格出力500 kW、バッテリー容量291 kWhのTESSが末吉変電所に設置された。元々、末吉変電所には、回生抵抗装置が設置されていたが、TESSはその代替設備かつ停電時の非常走行用電源として導入された。TESSの導入により、それまで回生抵抗装置で熱として消費されていた回生エネルギーを、電力として再利用できるようになった。更に、変電所構内で熱の発生が抑制されたことで、空調電力についても低減効果が得られた。

これらにより実現された省エネ効果を、図2に示す。この図は、TESS導入前後におけるゆいレールの消費電力量と輸送量の関係を示している。ゆいレールの輸送量は年々増加しており、例えば2015年5月に比べると2016年5月は、輸送量が6%増加している。これに伴い、消費電力量も増加しており、2015年5月比で2016年5月は3%の増加があった。更に、2017年5月の輸送量は2015年5月比で14%増となり、一層の消費電力量の増加が見込まれた。しかし、2017年4月にTESSを導入したことで、消費電力量はむしろ減少し、2015年5月比で96%となった。これにより、輸送量の増加から見込まれる消費電力量に対して11%削減でき、大きな省エネ効果が得られることを確認した。

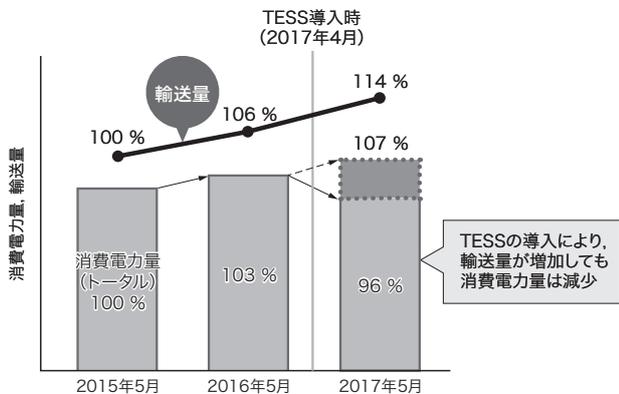


図2. 末吉変電所に設置したTESSによる省エネ効果

TESSの導入により、2017年5月の消費電力量は輸送量の増加から見込まれる消費電力量に対して、11%削減できた。

Example of energy-saving effect of TESS installed at Sueyoshi Substation

2.2 広域停電時の非常走行用電源としてのTESS

沖縄都市モノレール株式会社では、その後の輸送量増加に伴い、ダイヤ改正などによる輸送力の見直しが必要となった。また、首里駅からただこ浦西駅間の4.1 kmの延伸も行われ、列車の編成数も12編成から19編成に増加した。こうした状況を踏まえて、更なる省エネ効果の拡充及び広域停電時の緊急退避に用いる非常走行用電源供給能力の強化を目的として、TESSを新たに2台増設し、2019年10月1日から運用を開始した(図3)⁽¹⁾。

この上で、広域停電が発生した際に、全線で列車救済が可能かどうかの検証を行った。ゆいレールのような高架を走行するモノレールでは、万が一停電が発生すると、乗客を退避させる場所がなく、安全性の確保が懸念される。更に、停止した車内で長時間にわたって乗客が閉じ込められると、熱中症などの健康上の問題も懸念される。そのため、非常走行の検証は重要となる。

非常走行試験条件を、表1に示す。また、図4に非常走行試験の様子と、各TESSのSOC (State of Charge : 充

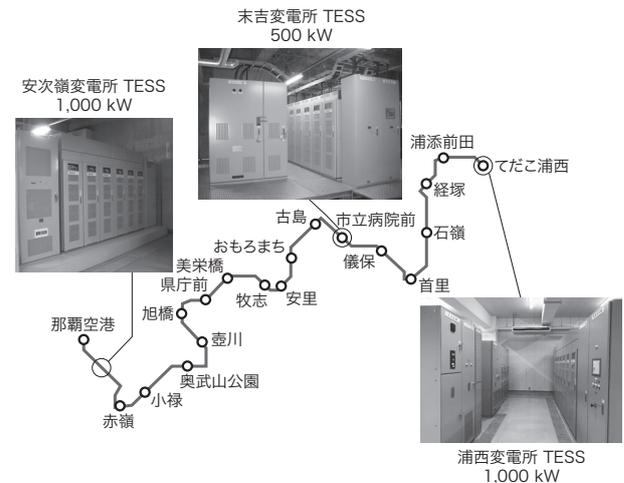


図3. ゆいレールにおけるTESS増設

ゆいレールの延伸に伴い、浦西変電所及び安次嶺変電所が追加された。

Additional TESS installed on Yui Rail Line

表1. ゆいレールにおける非常走行試験条件

Conditions for emergency running test using TESS

項目	仕様	備考
TESS運転台数	3台	500 kW × 1台, 1,000 kW × 2台
TESS蓄電池のSOC使用範囲	5 ~ 90 %	
同時走行する編成数	3編成	
車両走行距離	編成ごとに合計34 km	ゆいレールの全長17 kmを、各駅に停止しながら1往復分
車両補機	あり	空調・照明を継続使用

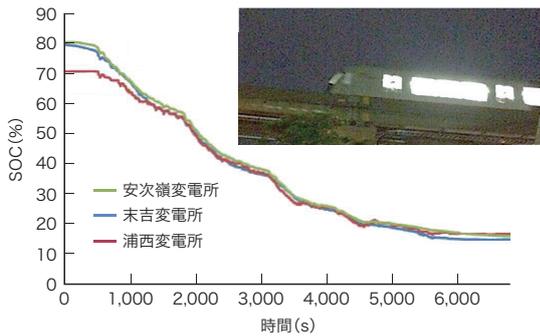


図4. ゆいレールでの非常走行試験と、同試験時における各TESSのSOC推移

TESSからの電力供給だけで、非常走行試験を実施した。3変電所に設置されたTESSのSOCは、ほぼ等しく推移し、偏りがなかったことが分かった。

Changes in state of charge (SOC) of each TESS during emergency running test

電状態) 推移を示す。

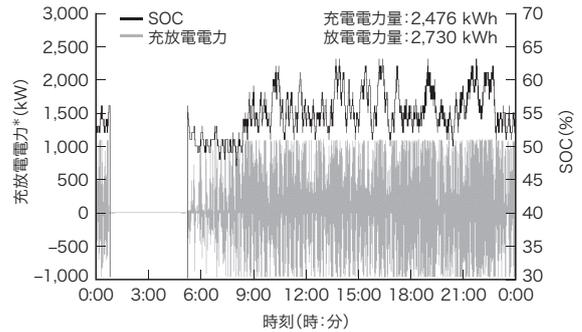
この非常走行試験の結果、速度制限を設けることなく、3編成が36駅に各駅停車しながら往復34 kmを走破することができた。これにより、広域停電時に列車が各駅間に停止した場合でも、最寄り駅に安全に退避できることを確認した。電力を供給するTESSに関しては、3ポスト間で充放電特性をそろえることで、それぞれが均等に放電し、負荷の均等化が可能であることが分かった。また、非常走行試験において、TESSからの合計出力値は最大1,500 kWであり、設備の瞬時最大出力の2,500 kW以内に収まっていることも確認した。

この試験により、ゆいレールでは万が一広域停電が発生しても、路線上の列車を迅速に最寄り駅まで退避させることができ、強靱な電力供給システムを構築できていることが実証された。

3. TESSに採用されたSCiB™の劣化度合いの調査

2章で述べたように、TESSは、鉄道システムにおいて重要なテーマである“省エネで安全かつ強靱なインフラ構築”に有用なシステムであるが、鉄道事業者から求められる長期的な運用に対する検証が必要であった。特に蓄電池に関して、SCiB™は従来のリチウムイオン電池に比べて長寿命であるが、TESSに採用した場合にその特性がどこまで持続されるかが、安全かつ信頼性の高いインフラを構築する上で重要なポイントとなる。

このような要求に応えるために、東武鉄道株式会社に納入したTESSに採用されたSCiB™モジュールを抜き取り調査し、その劣化度合いを確認した⁽²⁾。対象としたTESSは、2014年12月に東武アーバンパークラインの運河駅構内に



*放電電力を正の値として表記

図5. 大宮公園バッテリーポストのTESS運用状況

列車運行時間帯を通じて、多頻度でTESSが運用されていることが分かった。

Operation states of TESS installed at Omiya Koen Battery Bank

き電電圧補償を目的に設置した設備である。2016年3月に同駅付近に運河変電所が新設されたことに伴い、一旦運用は停止されたが、その後同線区の終端に位置する大宮公園駅構内に移設され、バッテリーポストとして2017年2月から架線電圧補償の目的で使用されている。

大宮公園バッテリーポストとして設置されたTESSの運用状況を、図5に示す。路線の末端における電圧補償用途ということで、TESSは1日を通して頻繁に充放電を繰り返し、SOCも48～63%の幅で時間帯に応じて推移していることが分かった。

大宮公園バッテリーポストの機器レイアウト及び抜き取り調査を行った電池モジュールの配置を、図6に示す。一般に、蓄電池の寿命は温度に依存することから、空調から離

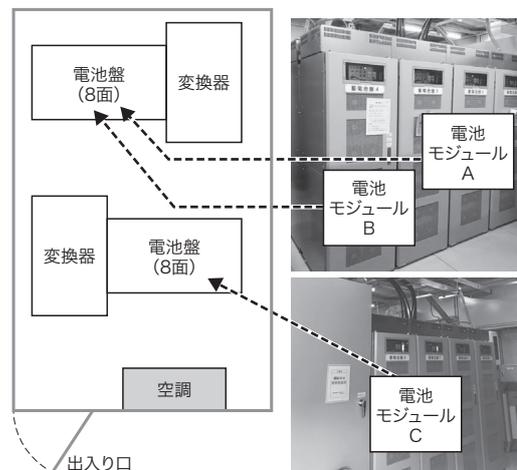


図6. 大宮公園バッテリーポストと抜き取り調査を行った電池モジュールの配置

空調からの距離に応じて、電池モジュールの温度が異なる。

Positions of battery modules subjected to sampling inspections

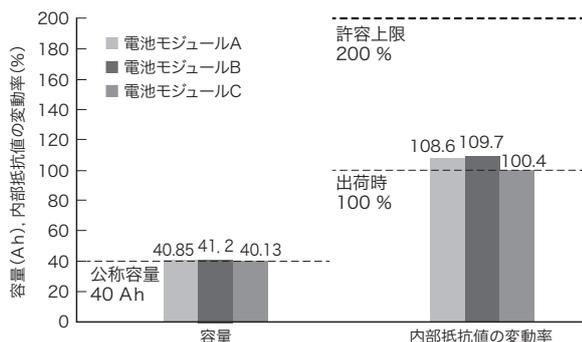


図7. 各電池モジュールの劣化度合いの調査結果

温度環境によって劣化度合いに若干の差はあるものの、各電池モジュールとも、出荷時からの大きな性能低下は見られなかった。

Results of battery performance deterioration measurements

れた位置にある比較的気温が高くなる電池モジュールAと電池モジュールB、及び空調付近に位置する電池モジュールCのそれぞれについて抜き取り調査を行い、劣化度合いを測定した。

電池モジュールA、B、Cそれぞれの劣化度合いの調査結果を、図7に示す。劣化度合いの調査は、容量測定及び内部抵抗値を測定した。まず容量については、今回測定した3モジュール全てが新規電池モジュールの公称容量である40 Ahを維持しており、劣化は見られなかった。一方、内部抵抗値については、比較的高温の環境に置かれた電池モジュールAと電池モジュールBは、出荷検査値に比べて若干増加していた(電池モジュールAは8.6%増加、電池モジュールBは9.7%増加)。これに対して電池モジュールCは、内部抵抗値の増加が0.4%と、出荷時とほぼ同じであった。このように、温度状態によって若干の差が見られたものの、TESS用蓄電池の内部抵抗値は、全て許容上限(使用開始時の2倍(変動率では200%))を下回っていた。このことから、今回測定した3モジュールは、問題なく使用できていることが確認された。

今回実施した、使用開始から5年程度使用したTESS用蓄電池の劣化度合いの調査結果から、その劣化度合いは設計値に対して許容範囲内であり、長期使用に対して信頼性の高いシステムであることを実証した。

4. TESSの海外展開

2章と3章で述べたように、TESSは開発以降、国内の鉄道事業者提供してきたが、2020年からバングラデシュのダッカ都市高速鉄道(以下、MRTと略記)6号線への導入に向けて、プロジェクトを進めている。

バングラデシュの首都ダッカは、経済成長を背景に人口



図8. TESSのユーザーインターフェース画面の例

ユーザーが直感的に操作できるインターフェース画面を開発し、提供している。

Example of user interface display of TESS

が1,500万人以上に増加して慢性的な交通渋滞と大気汚染が深刻化しており、社会・経済の発展が阻害されている。MRT6号線は、このような問題を解決するバングラデシュ初の都市鉄道の一つで、ダッカ市内を全線高架で南北につなぎ、全長約20 km、16駅で構成される予定である。当社は、この路線用に合計8台(2 MW×7台、500 kW×1台)のTESSの納入を進めている。

海外でも直感的な機器の監視操作を可能にするため、インターフェースを一新してユーザーフレンドリーなHMI(Human Machine Interface)を実現した。開発したTESSの操作画面の例を、図8に示す。ユーザーはこの画面を見ながら、タブレットにより監視操作ができる。

5. あとがき

省エネで安全かつ強靱なインフラ構築を実現する鉄道向け蓄電ソリューションとして、国内外でのTESSの適用事例、及び実運用中のTESSに採用しているSCiB™モジュールの性能劣化がほとんどなかったことについて述べた。

当社は、今後も国内外の市場において、持続可能な社会を実現するため、鉄道システムの価値向上に貢献していく。

文献

- (1) 家入一郎, ゆいレール浦添延長に伴う再生電力貯蔵装置の増設と非常走行機能強化について. 鉄道と電気技術, 2020, 31, 1, p.31-37.
- (2) 松本健次, 山口央人. 東武鉄道 大宮公園バッテリーポストの運転状況と電池劣化分析. 鉄道と電気技術, 2021, 32, 1, p.45-48.



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 海外鉄道システム技術部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.