

鉄道向け回生電力蓄電システム

Stationary Traction Energy Storage System for Railway Transportation Systems

佐竹 信彦 野木 雅之 保科 俊一朗

■ SATAKE Nobuhiko ■ NOGI Masayuki ■ HOSHINA Shunichiro

近年、鉄道システムにおいて省エネソリューションの要望が高まっている。そのなかでも、車両が電気ブレーキをかける際に発生する回生エネルギーの有効活用が注目されている。

東芝は、列車の回生電力を地上に設置した蓄電池に充電し、加速時に放電することで、省エネ、ブレーキメンテナンスの低減、及びき電電圧の安定化を図ることが可能で、架線停電時に列車非常走行用電源としても利用可能な回生電力蓄電システムを開発した。蓄電池には当社製二次電池 SCiB™ を用いることで、安全性が高く長寿命のシステムを実現した。

Accompanying the increase in demand for energy conservation solutions in railway transportation systems in recent years, there is a growing need for more effective use of regenerative energy generated by rolling stock during braking.

Toshiba has now developed a stationary traction energy storage system that is charged by regenerative energy during braking and discharges it during acceleration of rolling stock. This system not only achieves energy conservation, absorption of regenerative energy, and stabilization of feeding voltage, but also serves as an emergency power supply for rolling stock. High safety and a long lifetime of the system are assured through the adoption of our SCiB™ battery modules as a storage device.

1 まえがき

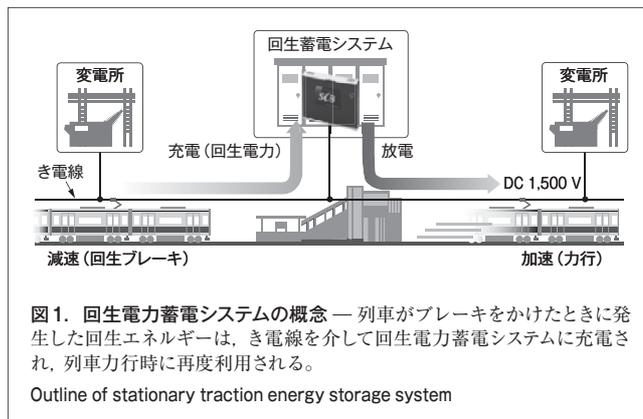
近年、国内外で省エネが求められているなか、鉄道システムにおいても省エネソリューションのニーズが高まっている。とりわけ、列車が回生ブレーキをかけた際に発生する回生電力の有効利用が注目されている。発生した回生電力は周辺のお車両を加速するために消費されることが理想であるが、そのようなお車両が存在しない場合、ブレーキ中の列車は回生失効となる。この場合、回生電力が熱として消費されてしまうだけでなく、機械ブレーキの摩耗やトンネル内の温度上昇など、様々な問題の原因となる。こうした問題を解消し、回生電力を省エネに適切に活用することが求められている。

東芝は、回生電力を有効に活用するシステムとして、直流 (DC) の回生電力を交流 (AC) に変換し、変電所や駅の高圧配電システムに供給する電力回生インバータを製品化しているが⁽¹⁾、今回新たに回生電力蓄電システムを開発した。その概念を図1に示す。

ここでは、今回開発した回生電力蓄電システムの概要とこれに搭載した主な装置の特長、及びこのシステムに採用した充放電制御技術について述べる。

2 システムの概要

今回開発した回生電力蓄電システムにより期待される効果を、以下に示す。



- (1) 回生電力を吸収し、回生失効を防止
- (2) 蓄電した回生電力を列車の力行などに再利用することによる省エネ
- (3) 整流器アシストによるピークカット
- (4) き電線の過渡的な変動に対して、高速で充放電することによる系統安定化
- (5) 変電所電源喪失時に、列車非常走行用電源として利用システムの構成を図2に、主な定格を表1に、主な構成機器の外形寸法と数量を表2に示し、主な構成機器に採用した技術について、以下に述べる。

2.1 チョップパ盤

チョップパ盤は、蓄電池電圧とき電電圧間のDC電圧変換を行っており、回生時にはき電電圧を電池電圧に降圧して充電

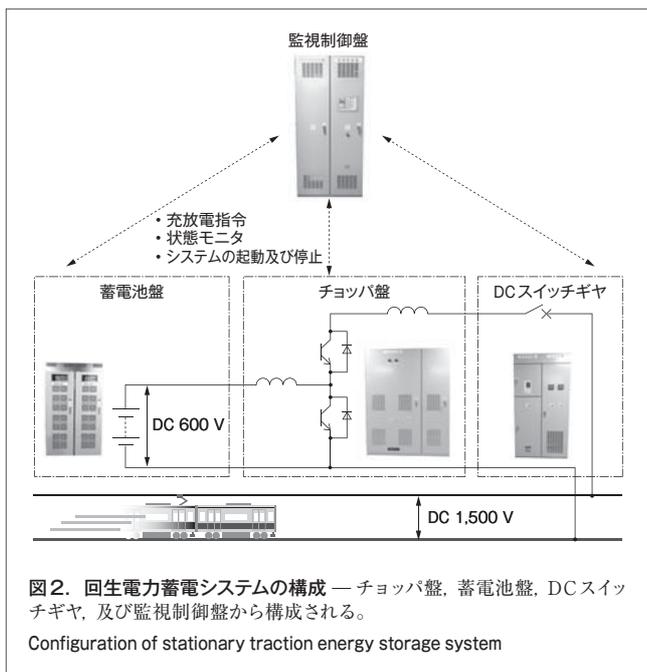


表1. システムの主な定格
Main specifications of newly developed system

項目	仕様
定格出力	500~2,000 kW
バッテリー容量	200~800 kWh
き電側定格電圧 (電圧変動範囲)	1,500 V (950~2,000 V)
電池側定格電圧 (電圧変動範囲)	600 V (500~713 V)
最大負荷パターン	1 p.u. (1分間) ~0.5 p.u.の充放電繰返し 又は0.5 p.u.連続

p.u.: per unit

表2. 主な構成機器の外形寸法と数量 (500 kW システムの場合)
Dimensions and quantities of equipment constituting 500 kW stationary traction energy storage system

機器	概略外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)	数量 (面)
チョップパ盤	1,800 × 2,380 × 2,300	1
蓄電池盤	600 × 650 × 2,100	8
DCスイッチギヤ	600 × 1,700 × 2,100	8
監視制御盤	500 × 600 × 2,100	2

を行い、逆に列車力行時には電池電圧を昇圧することで放電を行い、電力供給を行う。

チョップパ盤は、運転モードとして以下の2種類を備えている。

- (1) 系統連系運転モード き電システムの電圧及び蓄電池のSOC (State of Charge) を基に運転を行うモードである。制御アルゴリズムには後述する充放電制御を適用している。また、系統電圧の急激な変動に対しては、チョップパ盤が自律的に応答し、き電電圧の安定化を図る。更に、き電電圧が適正な値で充放電を行う必要がない場



合は、チョップパのゲートをオフし、不必要な動作を抑えることで、いっそうの省エネにつなげている。

- (2) 自立運転モード 災害などで変電所の電源が喪失した場合でも、走行中の車両を近くの駅まで運行することは安全上極めて重要になる。開発した回生電力蓄電システムは、AC電源がなくとも蓄電池を非常用電源として使用できる、自立運転モードを備えている。

2.2 蓄電池盤

蓄電池には、当社独自の二次電池であり、近年定置型蓄電池システムとしての実績も多いSCiB™を用いている^{(2), (3)}。SCiB™は従来の蓄電池と比較して、高い安全性や、高効率、高速充放電、長寿命、低温での安定的動作などの利点を持つ(図3)。今回のシステムでもそのメリットを生かし、特にニーズの高い安全かつ長寿命という点で貢献している。また、非常用電源として使用する場合には、SCiB™のエネルギー密度の高さと大容量が適していると言える。

2.3 DCスイッチギヤ

DCスイッチギヤは、新規開発のタイプを適用している。この機器に採用した新しい技術は、従来品と比較して大幅に縮小化された高速DC気中遮断器、及び新たに開発したき電保護リレー GRX200 (図4)である。これにより、当社の従来機器と比べて43%という、大幅にコンパクトな機器設計を実現している。

2.4 監視制御盤

監視制御盤の機能を以下に示す。

- (1) 電池のSOCやき電電圧から、適切な充放電の電力指令をリアルタイムで演算し、各装置に指令を出力
- (2) システムの運転状態や、各種パラメータ、故障などの状態のモニタリング
- (3) システム起動/停止などのシーケンス処理



図4. DCき電保護リレー GRX200 — DCき電保護, 計測, 及び機器監視操作を行うオールインワンリレーである。
GRX200 DC protection relay



図5. 監視制御盤画面の例 — 各機能は監視制御盤の前面にあるタッチパネルから操作及び監視が可能である。
Examples of monitoring and control panel displays

- (4) スケジュール運転制御
- (5) データ計測

監視制御盤の表示画面の例を, 図5に示す。

3 蓄電装置の充放電制御

蓄電装置では, 架線電圧の上昇に伴い充電が, 低下に伴い放電が行われる。また, 蓄電池のSOCの安定化を図るため, SOCに応じて充電開始電圧及び放電開始電圧を変更する制御方式を開発した。

架線電圧に応じて行われる充放電制御は, 架線電圧が低下する機会が多ければ, 蓄電池の充電率が低下し, 過放電になるおそれがある。一方, 架線電圧が上昇する機会が多けれ

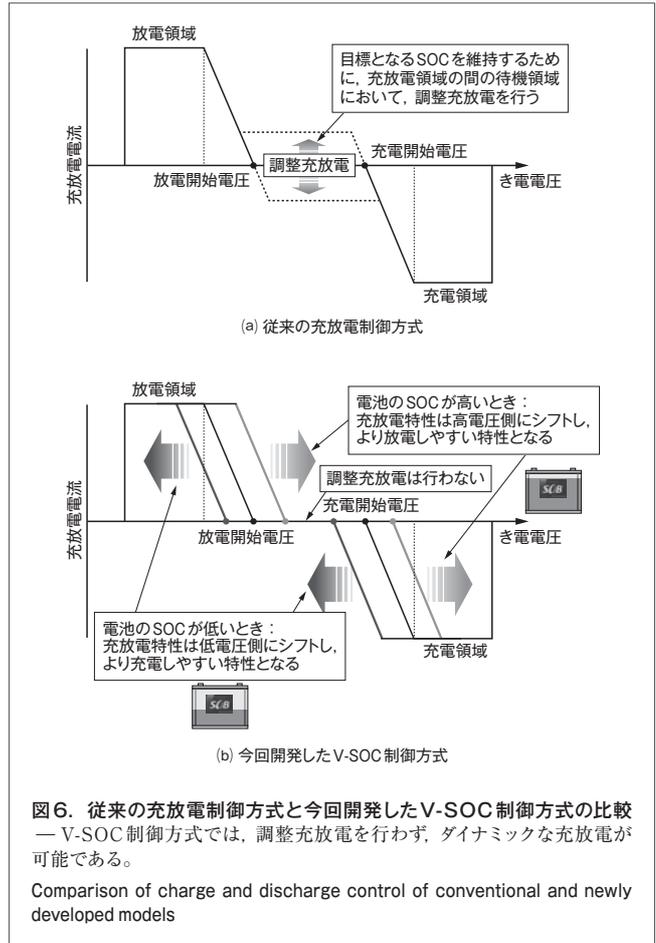


図6. 従来の充放電制御方式と今回開発したV-SOC制御方式の比較 — V-SOC制御方式では, 調整充放電を行わず, ダイナミックな充放電が可能である。
Comparison of charge and discharge control of conventional and newly developed models

ば, 過充電になるおそれがある。

これまででは, こうした問題を解決するために, 時間帯に応じて充放電制御特性を切り替える方式や, 調整充放電電流を流してSOCを所定の値に維持する方式が, 用いられてきた。

しかし, これらの方式では現地導入時に充放電制御の最適パラメータ調整に時間が掛かることや, 路線内の負荷状態及びき電設備の条件が変化するとSOCを安定に保てなくなることなどの問題があった。また, 調整充放電電流を流すことにより, 架線の電圧変動抑制には寄与しないむだな充放電を繰り返すことになり, 蓄電池が充放電する際の電流実効値が増加し, 電池寿命に影響を与えるおそれがあるという問題もあった。

そこで今回, SOCに応じて充放電開始電圧をリアルタイムで変化させるV-SOC制御方式を開発した。SOCが高いときには充放電特性は低電圧側にシフトし, 放電しやすい特性となる。逆にSOCが低いときには, 充放電特性は高電圧側にシフトし, 充電しやすい特性となる。このようにして, 調整充放電を行うことなく, SOCを適切な範囲内で推移させることが可能である。この制御方式は, 負荷状況に応じてダイナミックに充放電を行う制御を行いながら, 不必要な充放電を避け, 電池の長寿命化に貢献する。従来の充放電制御方式と今回開発した制御方式の比較を図6に示す。

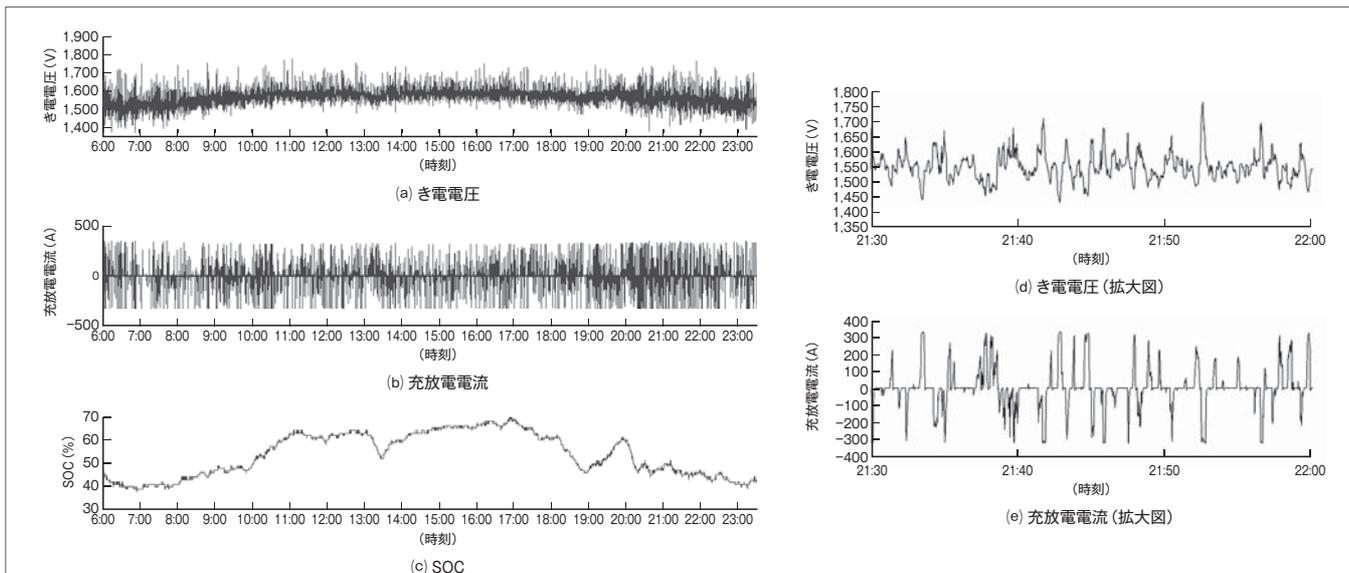


図8. フィールド試験の計測結果例 — 1日を通して、き電電圧の変動に応じて充放電を行っている。SOCは負荷状況に応じて変化し、40 ~ 70%の変動幅の中で推移している。

Examples of data measured in field tests

4 性能検証試験

回生電力蓄電システムは2014年4月に開発を完了し、公益財団法人 鉄道総合技術研究所での型式試験で機能を満足していることを確認した。

更に、2014年6月から東武鉄道(株) 越谷変電所において、フィールド試験を順調に継続して実施している(図7)。越谷変電所は複雑な線区間となり、通過する列車の本数も非常に多い変電所となるが、回生電力蓄電システムは、き電線の電圧変動に速やかに対応し、1日を通して、SOCは40 ~ 70%の幅で推移し、ラッシュ時間帯や閑散時間帯といった列車負荷の変動にも良好に追従して、安定した充放電を行うことができた(図8)。



図7. フィールド試験の様子 — 500 kWのシステムを東武鉄道(株) 越谷変電所に設置し、試験を順調に継続中である。

500 kW stationary traction energy storage system undergoing field test at Koshigaya Substation of Tobu Railway Co., Ltd.

5 あとがき

開発した回生電力蓄電システムは順調に検証が進んでいる。今後も回生電力蓄電システムを中心に、鉄道EMS (Energy Management System) の開発を更に推進し、省エネ及びき電電圧の安定化に貢献していく。

文献

- 片岡秋久 他. 環境に優しく、省メンテナンスを実現した電気鉄道用ハイブリッドインバータ・コンバータ. 東芝レビュー. 61, 9, 2006, p.55-58.
- 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.
- 小林武則 他. SCiB™を適用した定置型蓄電池システム. 東芝レビュー. 67, 6, 2012, p.48-51.



佐竹 信彦 SATAKE Nobuhiko

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 鉄道電力システム技術部主務。鉄道用電力システムのエンジニアリング業務に従事。

Transmission & Distribution Systems Div.



野木 雅之 NOGI Masayuki

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電機電池応用・パワーエレクトロニクス開発部。パワーエレクトロニクス機器の研究・開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



保科 俊一郎 HOSHINA Shunichiro

東芝三菱電機産業システム(株) パワーエレクトロニクスシステム事業部 パワーエレクトロニクス部。電鉄・電力大型システム制御装置の開発・設計に従事。電気学会会員。

Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.