

# リチウムイオン二次電池を適用した 変電所向け SCiB™ 直流電源装置

DC Power Supply Equipment for Substations Using SCiB™ Lithium-Ion Rechargeable Batteries

豊崎 智広 TOYOSAKI Tomohiro 川本 真也 KAWAMOTO Shinya 木内 麻紗子 KIUCHI Masako

電力会社の変電所では、鉛蓄電池が直流バックアップ電源（以下、バックアップ電源と略記）用の蓄電池として主流である。しかし、設置面積が大きく、整流器に比べて交換時期が早いことや、蓄電池の劣化状態を把握するためには定期的に現場で電圧及び内部抵抗の測定を行うなどメンテナンスコストが掛かる。そこで、省スペースでかつメンテナンスが容易なりチウムイオン電池の適用が期待されているが、バックアップ電源として適用する場合、安全性の確保とフロート充電時の寿命の低下といった課題がある。

東芝グループは、フロート充電時でも長寿命特性が検証された東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ を適用した変電所向け SCiB™ 直流電源装置を開発し、市場への展開を目指している。

Although lead-acid batteries are still the mainstream of batteries for DC backup power supply equipment at the substations of electric power companies, the need for a large installation area as well as maintenance costs for periodic inspections and early replacement compared with other equipment are critical issues. Demand has therefore been growing for the introduction of lithium-ion rechargeable batteries that can achieve both space saving and high maintainability. However, it is necessary to ensure the safety of backup power supply equipment used in this field and prevent deterioration of the capacity retention rate during float charging.

The Toshiba Group has developed new DC power supply equipment using its SCiB™ lithium-ion rechargeable batteries offering a high level of safety and a long lifetime. Experiments on SCiB™ modules and full-scale demonstration tests using prototype equipment have verified that the capacity retention rate shows negligible deterioration during float charging. We are promoting the introduction of SCiB™ DC power supply equipment in electricity markets.

## 1. まえがき

変電所は、発電した電力を使用目的に合わせた電圧に変換し、必要な箇所に電力を配分する施設である。もし、電力系統のある区間に事故が発生すると、変電所内の遮断器（CB）を動作させてその事故区間を電力系統から一旦切り離し、事故の波及を防止する。CBなどの機器は直流電源で動作するものが多いため、電力会社は変電所の電源喪失に備え、バックアップ電源として蓄電池を導入している。

図1に示すバックアップ電源は、商用電源の健全時には整流器を介して蓄電池を定電圧で充電（以下、フロート充電と呼ぶ）しながら直流負荷へ電力を供給する。一方、商用電源の停電時には整流器から電力を供給できないため、蓄電池から直流負荷に電力を供給する。

バックアップ電源用の蓄電池としては、現在、鉛蓄電池が主流である。しかし、図2に示すCB動作時などの急峻（きゅうしゅん）な負荷変動（間欠負荷）に対応するために、大容量の蓄電池を搭載する必要があり<sup>(1)</sup>、設置面積が大きくなる傾向がある。また、鉛蓄電池の容量劣化に伴う電池交換の目安は13～15年を想定しているため、整流器に比

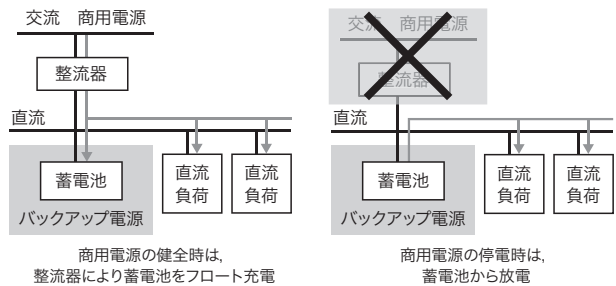


図1. 変電所におけるバックアップ電源の役割

商用電源の健全時は、蓄電池をフロート充電しながら直流負荷に電力を供給する。一方、商用電源の停電時は、蓄電池から直流負荷に電力を供給する。

Role of DC backup power supply equipment at substation

べて早期の交換が必要である。そのほか、10年以上を経過した蓄電池に対しては各蓄電池セルの電圧や内部抵抗の点検を定期的の実施する必要があるなど、蓄電池のメンテナンスにコストが掛かるという課題がある。

東芝グループは、これらの問題を解決するため、東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ を搭載した変電所向け SCiB™ 直流電源装置を開発し、市場への展開を目指して

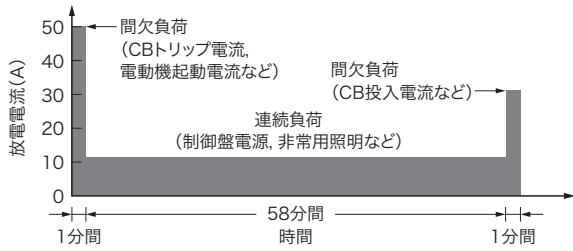


図2. 交流停電時の典型的な負荷変動パターン

商用電源の停電時には、変電所のバックアップ電源用蓄電池は、CBのトリップや投入といったCB動作時などの急峻な負荷変動に対応できなければならない。

Typical load variation pattern in case of AC power failure

いる。ここでは、SCiB™ 40 Ahモジュールの長期フロート充電試験、及び電池盤（長期フロート充電試験後の40 Ahモジュールを搭載）の変電所実負荷環境における検証試験の結果、整流器とSCiB™モジュールを一体構造の盤に収納したSCiB™直流電源装置について述べる。

## 2. リチウムイオン電池適用への期待と課題

変電所のバックアップ電源に鉛蓄電池を適用した場合、1章で述べた設置面積やメンテナンスコストなどの問題があるため、鉛蓄電池をリチウムイオン電池へ置き換えることが期待されている。リチウムイオン電池は鉛蓄電池よりもエネルギー密度が高く、高い入出力特性を持つため、少ない電池容量で間欠負荷に対応可能である。また、リチウムイオン電池は電池管理ユニット(BMU)などにより、セル電圧やセル温度などを常時監視していることから、電池の状態や使われ方をデジタル情報として管理でき、メンテナンスを容易にすることも期待できる。

しかし、リチウムイオン電池は電解液に有機溶媒を使用しており、発煙や発火などの可能性が懸念されるため、変電所の重要設備に適用する上では安全性の確保が大きな課題となる。また、リチウムイオン電池は充放電を繰り返して使用する際のサイクル特性には優れているが、バックアップ電源のようにフロート充電で高エネルギー状態を保持した場合、保持する電圧が高いほど残存エネルギー容量（以下、容量と略記）が低下するとされており<sup>(2)</sup>、電池の寿命に懸念がある。すなわち、一般的なリチウムイオン電池を変電所バックアップ電源に適用する場合、安全性の確保と長寿命化が課題となる。

## 3. SCiB™の適用性検証

このような課題に対して、SCiB™は、負極にチタン酸リチウムを採用することで、図3に示す六つの特長を備えてい



SOC: State of Charge (充電率)

図3. SCiB™の六つの特長

SCiB™は負極にチタン酸リチウムを採用することにより、長寿命で高い安全性を実現している。

Six features provided by SCiB™

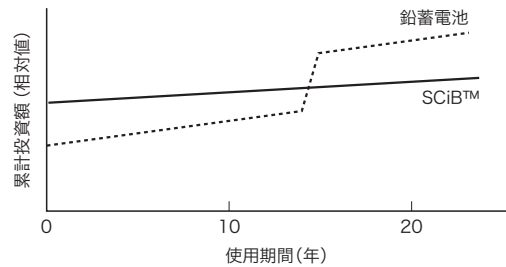


図4. SCiB™適用による累計投資額の低減

鉛蓄電池は13～15年で電池交換の必要がある。これに対してSCiB™は、フロート充電時の寿命は20年以上と予測されるため、電池交換が不要となり、累計投資額を抑えることができる。

Reduction of cumulative total investment by applying SCiB™

る。特に、安全性と長寿命特性の二つの特長から、変電所向けバックアップ電源への適用が期待できる。

安全性の観点では、内部短絡が発生する状況においても発煙・発火の可能性が極めて低く、電力系統安定化のための定置用蓄電池システムとして、既に変電所構内にも設置され運用されている<sup>(3)</sup>。

また、長寿命特性という観点でも、SCiB™セルは、20,000回以上の充放電サイクルで70%以上の容量を維持でき、フロート充電で使用しても容量劣化が少ないことが検証されている<sup>(4)</sup>。変電所のバックアップ電源に長寿命のSCiB™を適用した場合、期待されるトータルコストの低減イメージを図4に示す。鉛蓄電池は13～15年で電池交換する必要があるのに対して、後述の3.1節のようにSCiB™はフロート充電時の寿命は20年以上と予測される。このため、電池交換が不要となり、累計投資額を抑えることができる。

### 3.1 フロート充電試験による長寿命特性の検証

フロート充電試験における機器構成を図5に示す。フロート充電試験は、SCiB™ 40 Ahモジュール(20 Ahセルを

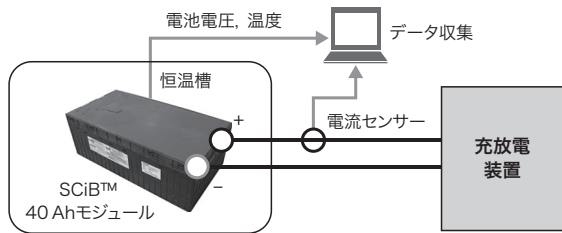


図5. フロート充電試験の構成

恒温槽内にSCiB™ 40 Ahモジュールを設置し、4種類の試験温度でフロート充電試験を行った。

Configuration of float charging experiment

2並列12直列に接続した構成)を対象とした。また、試験温度は0℃、25℃、40℃、55℃の4条件とし、フロート充電時のセル電圧は2.5V(実運用を想定したセル電圧)と2.7V(完全に充電した状態でのセル電圧)の2条件とした。

この試験は28か月間実施しており、フロート充電時は恒温槽を試験温度に設定の上、試験条件のセル電圧で定電圧充電を維持した。また、容量の経時変化を確認するため、2か月ごとに容量測定(恒温槽は容量測定時だけ25℃に再設定)を行い、容量維持率(初期容量に対する残存容量の比率)を算出した。

セル電圧2.5Vの条件で、横軸をフロート充電期間、縦軸を容量維持率とした試験結果を図6に示す。これにより28か月経過後の容量維持率は、25℃の環境で98.7%、40℃の環境においても95.5%であることを確認した。

更に、長期間における容量維持率の変化を予測するため、フロート充電における温度劣化がアレニウス則に従うと仮定し、式(1)に示す反応速度定数 $k$ を算出した。

$$k = A \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (1)$$

$A$ : 頻度因子  $E_a$ : 活性化エネルギー(J/mol)  
 $R$ : 気体定数(8.314 J/(K·mol))  $T$ : 絶対温度(K)

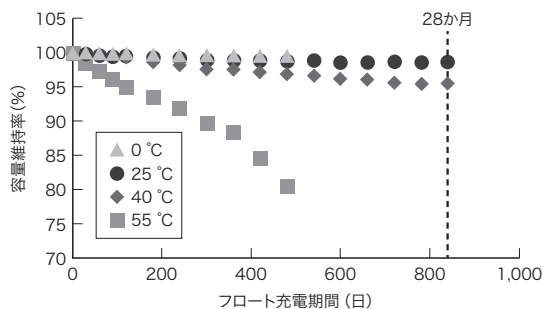


図6. フロート充電試験における容量維持率の変化

セル電圧2.5Vの条件で、28か月経過後の容量維持率は、25℃の環境で98.7%、40℃の環境で95.5%であった。

Changes in capacity retention rate during float charging experiment

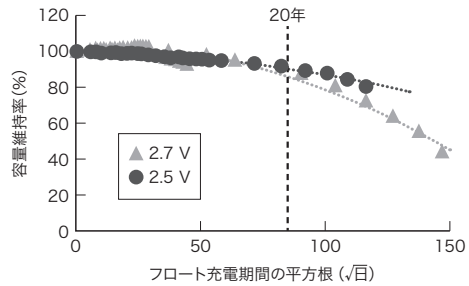


図7. アレニウス則を用いた容量維持率の変化予測

セル電圧2.5V及び2.7Vのいずれの条件においても、20年経過後に80%以上の容量維持率が期待できることを確認した。

Outline of changes in capacity retention rate according to Arrhenius's rule

この $k$ を用いて、25℃以外の環境での容量維持率を25℃に換算し、横軸をフロート充電期間の平方根としてプロットしたグラフを図7に示す。この結果より、25℃でSCiB™をフロート充電した場合、セル電圧2.7Vの過酷な条件においても、20年経過後に80%以上の容量維持率が期待できることを確認した。

### 3.2 変電所実負荷環境における検証試験

3.1節で長期フロート充電試験を行ったSCiB™ 40 Ahモジュールを4直列に接続して構成される電池盤を製作し、変電所実負荷環境として東京電力パワーグリッド(株) 網島変電技能訓練センターに設置して検証試験を行った<sup>(1)</sup>。図8に示すように、SCiB™の新設電池盤は既設整流器の直流側回路に並列に接続した。常時、既設整流器によるフロート充電を行いながら、CB動作時の急峻な負荷変動による放電を150回程度繰り返したが、3か月後の容量測定の結果、容量維持率にほとんど変化がないことを確認した。こ

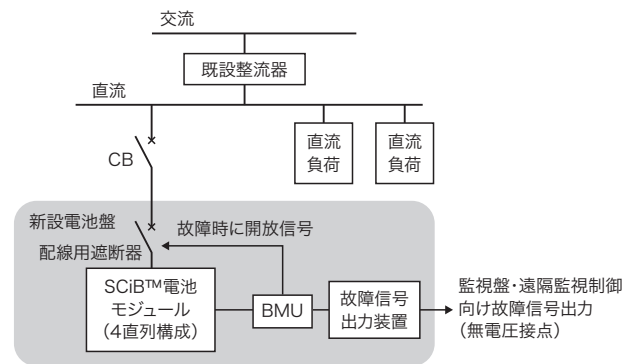


図8. 変電所実負荷環境での検証試験の構成

既設整流器にSCiB™の新設電池盤を接続して、変電所実負荷環境での検証試験を行った。

Configuration of verification tests on prototype equipment using SCiB™ installed in actual substation

ここでSCiB™の新設電池盤は、既設の鉛蓄電池の電池盤に比べて約1/4のサイズ(容積)であり、省スペースの観点でも優れている。

#### 4. SCiB™直流電源装置

3章で、SCiB™は変電所向けバックアップ電源に適していることを確認した。これを踏まえて、整流器とSCiB™モジュールを一体構造の盤に収納したSCiB™直流電源装置を開発した。送電用変電所や超高圧変電所にも直流電源装置が設置されているが、変電所の規模などにより要求される仕様がそれぞれ異なるため、まず設備容量が比較的統一されていて設置台数も多い配電用変電所を対象とした。

開発したSCiB™ 直流電源装置(図9)の特長として、以下が挙げられる。

- (1) 信頼性の向上 長期運用に耐える自然空冷のファンレス構造を採用している。また、蓄電池の過放電防止回路(放電末に到達したら蓄電池を解列し、不慮の蓄電池故障を回避)を搭載するとともに、蓄電池の接続には信頼性の高い配線用遮断器を採用することで、信頼性を向上させている。
- (2) 操作性・保守性 復電後の蓄電池及び整流器の自動接続回路を搭載している。また、タッチパネルにより、各計測や、履歴表示、警報一覧などで機器状態を詳細に確認できる。更に、上位の通信インターフェース(RS-485)により、遠隔でシステム監視が可能である。
- (3) 設置の容易さ 蓄電池を外さず一体で運搬可能な構造にすることで、間口の狭い搬入口でも盤を横倒しで運搬できる。



図9. 配電用変電所向けSCiB™直流電源装置

盤内に、整流器、及びSCiB™ 45 Ahモジュールを4直列に接続した構成を収納している。このSCiB™電池モジュール構成を、最大2並列まで収納可能である。

SCiB™ DC power supply equipment for distribution substation

#### 5. あとがき

長期フロート充電試験と変電所実負荷環境での検証試験を通じて、SCiB™は変電所向けバックアップ電源に要求される長寿命性能を備えていることを確認し、変電所向けSCiB™直流電源装置を開発した。開発したSCiB™直流電源装置の初号機は、2018年12月に東京電力パワーグリッド(株)管内の変電所2か所に納入され、実証用設備として運用を開始している。今後、一体構造盤として、実運用環境下での信頼性や保守性などを確認していく予定である。

変電所向けSCiB™直流電源装置は、長寿命で高い信頼性を確保しながら、機器状態のデジタル化や、遠方監視による保守コストの低減など、IoT(Internet of Things)を活用したデジタル変電所との融合も期待されている。東芝グループのSCiB™直流電源装置は、これらの期待にも応えられるように、更なる展開を図っていく。

#### 謝辞

今回の開発にあたり、多大なご協力をいただいた東京電力ホールディングス(株)経営技術戦略研究所の関係各位に、深く感謝いたします。

#### 文献

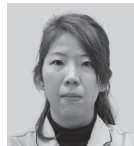
- (1) 石岡貴裕, ほか, “リチウムイオン蓄電池の変電所適用への実規模実証試験の開始”, 平成28年電気学会全国大会論文集 分冊7, 仙台, 2016-03, 電気学会, 2016, 7-059, p.83-84.
- (2) 明神正雄, ほか, “リチウムイオン電池の劣化要因解析 -保存試験後の内部抵抗増加要因-”, JARI Research Journal, 2014, 2, p.1-4.
- (3) 小林武則, 竹田大輔, “再生可能エネルギー拡大に向けた蓄電池システムの現状と動向”, OHM, 2018, 105, 11, p.39-44.
- (4) SCiB™製品情報, “SCiB™セル”, 東芝, <<https://www.scib.jp/product/cell.htm>>, (参照2019-04-03).



豊崎 智広 TOYOSAKI Tomohiro  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
DXビジネスデザインプロジェクトチーム  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



川本 真也 KAWAMOTO Shinya  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
DXビジネスデザインプロジェクトチーム  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



木内 麻紗子 KIUCHI Masako  
東芝インフラシステムズ(株)インフラシステム技術開発センター  
電機応用・パワエレシステム開発部  
電気学会会員  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.