

リチウムイオン電池式電力貯蔵装置の活用について

Application of the energy storage system using the lithium-ion battery for regenerative energy utilization



日野 政巳*



原 大介*

In East Japan Railway Company (JRE), the energy storage system using the Lithium-ion battery for regenerative energy utilization was installed at HAIJIMA Substation (SS) on Ome Line and OKEGAWA SS on Takasaki Line, started operation on February, 2013 and March, 2014. It is the first application of the energy storage system in traction power supply system in JRE. In this paper, the effect of Lithium-ion battery system installed at HAIJIMA SS and OKEGAWA SS is reported based on the measured data during the practical operation.

●キーワード：回生電力、省エネルギー、リチウムイオン電池、電力貯蔵装置、電鉄用変電所

1. はじめに

JR東日本グループでは、「グループ経営構想V～限りなき前進～」において、技術革新によるエネルギー・環境戦略の構築を目指し、各種取組みを実施している。

その取組みの一つとして、電鉄用変電所への電力貯蔵装置設置による回生電力の有効利用があげられる。

駅停車時などの車両制動時に発生する回生電力を使用する力行車両などが周囲に在線しない場合は、車両間の回生電力融通が行えず、回生車両の回生絞り込み、回生失効が発生し、回生電力の有効利用が図れないケースがある。そこで、電力貯蔵装置を設置し、回生電力を貯めて、必要な時に使用することで、回生電力の有効利用を図ることが可能となる。

JR東日本では、省エネルギー推進を目的に、2013年2月に社内初のリチウムイオン電池を用いた電力貯蔵装置を青梅線拝島変電所で使用開始し、2014年3月、高崎線桶川変電所にて2箇所目の電力貯蔵装置を使用開始した。

2. 電力貯蔵装置導入変電所及び走行車両の概要

図1に拝島、桶川変電所の位置概要、表1に導入変電所の供給線区と走行車両の概要を示す。

拝島、桶川変電所ともに、東京駅から40～50kmのエリアで首都圏の主要通勤圏内であるが、山手線、中央線のような稠密線区ではなく、JR東日本管内においては中密度の線区であり、ラッシュ時間帯と閑散時間帯の列車本数、乗車率の差が大きい線区である。そのため、特に、閑散時間帯においては稠密線区に比べ、車両間での回生電力の融通が効果的に行われず、回生絞り込み、回生失効が発生する機会が多い線区である。

また、導入変電所は、駅近傍にあり、駅停車時の回生、出発時の力行による電力貯蔵装置の充放電の機会が多い箇所にある。さらに、駅から変電所までの距離が短いため、駅・変電所間のき電回路抵抗が小さくなるため、回生時の回生失効、絞り込みにつながる回生電力発生時のパンタ点電圧上昇を抑えることが可能となり、回生電力の有効利用が見込める箇所である。

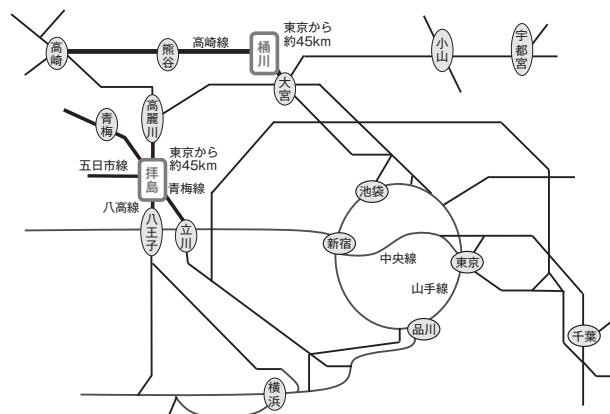


図1 電力貯蔵装置導入箇所の概要

表1 電力貯蔵装置導入変電所の供給線区及び主な走行車両

変電所	拝島変電所	桶川変電所
供給線区	青梅線、五日市線、八高線	高崎線
走行車両	E233 (青梅線 10両 6M4T) E233 (五日市線 6両 4M2T) 209, 205 (八高線 4両 2M2T)	E233 (15両 8M7T) E231 (15両 6M9T)

3. 電力貯蔵装置の概要

3.1 システム構成図

図2にリチウムイオン電池を用いた電力貯蔵装置のシステム構成を示す。

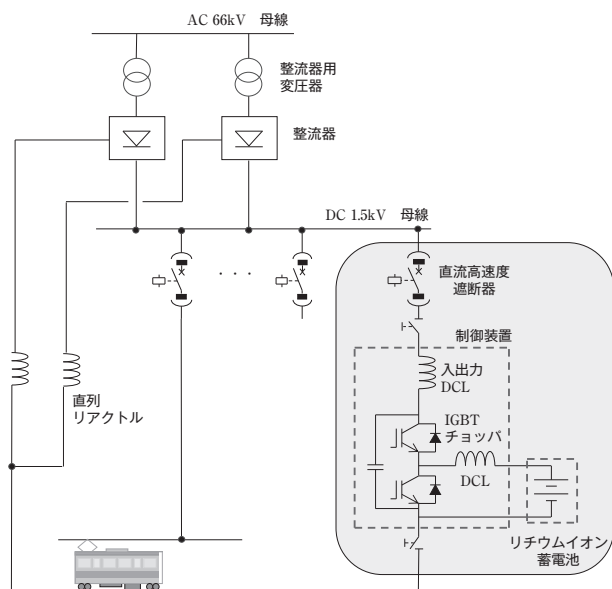


図2 システム構成

今回導入した電力貯蔵装置は、入出力DCL盤・IGBTチョップパ盤・DCL盤からなる制御装置とリチウムイオン電池盤の構成で、直流高速度遮断器を介して変電所の直流母線に接続されている。図3に拝島変電所のリチウムイオン電池盤、制御装置を収納したパッケージハウスの設置状況を示す。なお、直流高速度遮断器は既存の配電盤室内に設置している。

3.2 システム仕様

表2に拝島変電所、桶川変電所に導入したシステムの仕

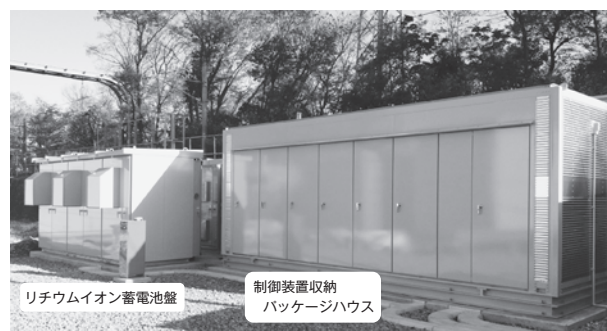


図3 拝島変電所 電力貯蔵装置 設置状況

表2 拝島・桶川変電所設置の電力貯蔵装置システム仕様 (抜粋)

変電所	拝島変電所	桶川変電所
定格容量	2000kW	
定格電圧	1650V	
定格電流	1200A	
電池	電池セル仕様	3.6V 5.5Ah
	電池構成	48セル×4モジュール 20並列
	電池容量	76kWh
	1回の運転パターンによる吸収電力量	8.3kWh
変換器	デバイス	IGBT
	並列数	6
	素周波数	600Hz
運転パターン	充電：2000kW×10s+1000kW×10s 放電：1000kW×30s 周期：180s	充電：2000kW×10s+1000kW×30s 放電：1000kW×50s 周期：180s
充放電開始電圧設定イメージ	1V刻み設定 1設定のみ	1V刻み設定 1日を5つの時間帯に分けて設定可能

様を示す。電池セル（電池の構成単位）、制御装置の主な仕様は同一であるが、変電所供給線区を走行する車両に応じて電池容量、装置運転パターンを決定している。

装置運転パターンについては、走行する車両編成1回分相当の回生電力量吸収を想定している。桶川変電所については、編成長が長く、ブレーキ初速が高いため、回生電力が大きく、回生の継続時間が長くなることから、充電時間を20s長くした運転パターンとした。

電池容量については、上下ほぼ同タイミングの駅停車など、2回連続での充電を想定し、1回の運転パターンによる吸収電力量×2回分の回生電力吸収を可能とするとともに、後述する充電率の範囲内（概ね30～50%で電池容量の20%を使用範囲）で電池を運用可能とすることを考慮し、容量選定を行った。

桶川変電所の充放電開始電圧については、先行導入した拝島変電所の運用改善点を受け、時間帯により変化する母線電圧変動の傾向に対応し、より効果的に充放電が可能となるように、朝・タラッシュ、閑散時、早朝、夜間など、時間帯別に5パターン設定可能とした。

3.3 充放電開始電圧設定の基本的な考え方

図4に充放電開始電圧設定の基本的な考え方を示す。電力貯蔵装置の充放電は、変電所の直流無負荷電圧を考慮した充電・放電開始電圧値を設定し、充電時は直流母線電圧が設定値以上、放電時は設定値以下となった場合にチョッパ装置による制御を行い、充放電を行うシステムである。電力貯蔵装置による充放電を効果的に行うためには、充電・放電開始電圧の設定が重要であり、貯蔵装置を設置した変電所の母線電圧の変動を考慮した電圧値を設定する必要がある。

なお、拝島、桶川変電所では、制御装置の安定動作を考慮し、設定値間に50V以上の差を設けるとともに、リチウム

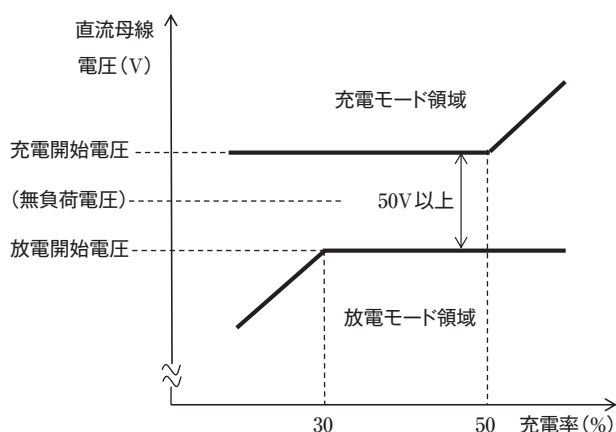


図4 充放電開始電圧設定イメージ (制御モード)

イオン電池を過充電、過放電状態で使用すると寿命の低下を招くことから、現時点ではデータ蓄積が乏しいものの電池の充電率を30～50%の範囲で制御し、電池の長寿命化を図っている。

4. 電力貯蔵装置導入時の高調波影響確認試験

システム構成の一つであるDC/DCチョッパ装置は、IGBTのON/OFFにより電流を制御するため通電電流に高調波が含まれる。この高調波電流による信号設備などへの影響を確認するため、試験列車による走行試験を実施した。

なお、事前に高調波シミュレーション及び工場内で装置単体の高調波電流発生量測定を実施し、電力貯蔵装置新設により信号設備へ影響を及ぼす可能性がないことを確認した。

走行試験は、先述の表1に記載した線区ごとに行い、踏切制御子、軌道回路など、列車の運行に必要な設備に影響を及ぼさないことを確認した。

5. 電力貯蔵装置の稼働状況

図5および図6に拝島変電所及び桶川変電所の平日の時間帯別放電電力量の平均値と1時間あたりの列車本数の関係を示す。

季節別の傾向を把握するため、4月、8月、10月、2月のデータを採用したが、使用開始時期が異なるため、データ年度が一部異なる。また、複数の線区に供給している拝島変電

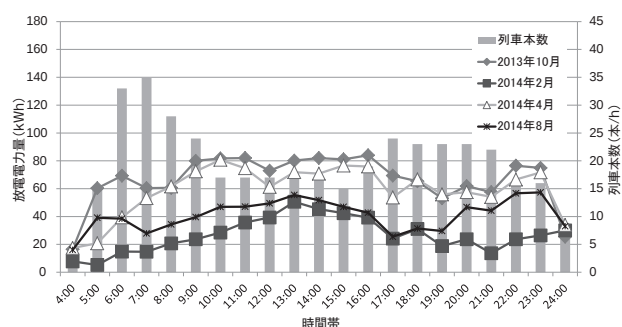


図5 平日の時間帯別放電電力量の平均値と列車本数 (拝島変電所)

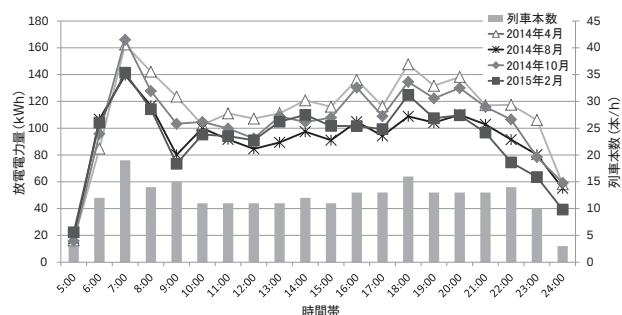


図6 平日の時間帯別放電電力量の平均値と列車本数 (桶川変電所)

所の列車本数は拝島駅での青梅線、五日市線、八高線の合計とした。

各変電所の装置稼働状況の傾向は以下の通りである。

5.1 拝島変電所

- (1) 列車本数が増える朝、タラッシュ時間帯で放電電力量が少なく、日中の閑散時間帯で放電電力量が多い。
- (2) 4月・10月と2月・8月の放電電力量の相違から、車内空調の使用量が大幅に増加する、すなわち、車両の補機電力が増加する時期(2月・8月)とそれ以外(4月・10月)で放電電力量に顕著な相違が見られた。

上記理由として、(1)、(2)ともに、時間帯、季節の変化により列車負荷が増となり、車両間融通が有効になされたことによるものと考えられるが、(1)については、朝・タラッシュ時間帯において、車両本数が増えること、(2)については、夏季・冬季に補機電力が大幅に増加することにより、電力貯蔵装置へ充電される回生電力量が減少したものと考えられる。

5.2 桶川変電所

- (1) ラッシュ時間帯の放電電力量が他の時間帯より多く、列車本数と充放電電力量に相関がみられた。
- (2) 春・秋の軽負荷時期に対して、夏・冬の重負荷時期の放電電力量が低下するものの、拝島変電所に比べ、軽負荷、重負荷時期の差は小さく、放電電力量も多い。

上記理由として、拝島変電所に比べ、車両本数が少なく車両間融通が少ないと想定されること、車両編成数が15両編成で余剰回生電力が多く、電池容量を大きくしたことで、放電電力量が増加したものと考えられる。

6. 充放電開始電圧自動補正機能

3.3項に記載したとおり、電力貯蔵装置による充放電を効果的に行うためには、充電・放電開始電圧の設定が重要であり、2箇所目の桶川変電所においては、時間帯により変化する母線電圧変動の傾向に対応し、充放電開始電圧設定を朝・タラッシュ、閑散時、早朝、夜間など、時間帯別に5パターン設定可能としている。

この設定により、拝島変電所のような単一設定に比べ効果的な充放電が可能となったが、送電系統の負荷状況などによる受電電圧変動により、車両負荷によらない直流母線電圧の上昇・降下を発生させるため、電力貯蔵装置の充放電制御を最適化することが難しい。

そこで、さらなる省エネ達成を目的として、電力貯蔵装置

の充放電開始電圧を自動補正する機能を有する装置の技術開発を行っており、以下にその概要を記載する。

6.1 概要

これまで放電開始タイミングは、力行車両への通電による直流母線電圧値が放電開始電圧値を下回った場合に放電するアルゴリズムとなっていたが、より効果的に放電タイミングをつかむため、力行車両への整流器の通電状態を的確に検出し、電力貯蔵装置の充放電開始電圧を自動補正するアルゴリズムを検討した。

今回、ポイントとなる整流器の通電状態を把握するため、通電時に発生する高調波に着目し、具体的には、整流器用変圧器二次側において第5次高調波電圧を検出することとした。

これにより、直流母線電圧変動のみによらない、第5次高調波電圧検出方式による電力貯蔵装置の充放電制御のアルゴリズムを構築した。

6.2 今後の課題

電力貯蔵装置による効果的な放電を行うべく、充放電開始電圧自動補正機能のアルゴリズムを構築したが、今後の課題を以下に示す。

- (1) フィールド試験による、新方式の検証
- (2) 第5次高調波電圧の検出レベルの調査及び調整

本課題については、桶川変電所にて実施するフィールド試験において検証予定である。

7. おわりに

本稿は、JR東日本に導入したリチウムイオン電池を用いた電力貯蔵装置の概要を紹介したものであり、導入した2箇所目の電力貯蔵装置は安定稼働している。

引き続き、電力貯蔵装置の他箇所への展開を視野に最適な充放電制御、充放電開始電圧の検討、効果検証を実施する予定である。

参考文献

- 1) 渡邊公一、東條真輝、小倉秀文；JR東日本における電力貯蔵装置適用の現状、JREA、Vol.56.No.9.2013
- 2) 日野政巳；鉄道電力供給における蓄電装置の応用－応用例VI－リチウムイオン電池、鉄道と電気技術、2014.10.