

電力貯蔵装置を用いた変電設備スリム化と 列車位置情報制御の実証試験



南之園 弘太*¹



橋本 慎*²

Verification Test of Simplification of Electric Substation by Utilizing ESS and Control of ESS Combined with Train Position Information

Kota MINAMINOSONO*¹, Makoto HASHIMOTO*²

*¹ Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*² Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

To maintain a substation (SS), it cost a lot. Out of 100km range in the metropolitan area, the percentage of the substation maintenance cost compared with the number of train is high. When such a substation is exchanged by aging, it's desirable to change the substation to sectioning post (SP). But if it changes to SP, the voltage of pantograph should be lower, and the size of the battery system is also problem in narrow SS. We focused on energy storage system (ESS) to solve the problem of pantograph's low voltage and controlling ESS by train position to solve the problem of battery size. In this research, we assumed that the Ohnuki SS in Uchibo line is replaced to SP by using ESS, and we report the verification of the compensation of pantograph voltage drop and the effectiveness of controlling ESS by train position in the field test.

●**Keywords:** Energy Storage System (ESS), voltage compensation, discharge-charge, information of train position

1. はじめに

変電所（以下SS）の保守・適切な維持には多額の費用が発生する。特に首都圏100km圏外の線区に対しては、運行列車本数に比するSSの維持費用の割合が大きく、SS老朽化による機器更新時に受電設備を撤去することで更新費用・維持管理費用の低減を行うのが望ましい。しかし、受電設備がなくなりき電区分所（以下SP）扱いとなった場合、車両のパンタ点き電圧は低下し、車両の運行状況によっては車両のパンタ点き電圧が必要とする最低電圧を下回ることが懸念される。これまでの研究では、車両パンタ点き電圧の低下を補償するために、受電設備の代替として貯蔵装置を用いること（バッテリーポスト：以下BP）、および貯蔵装置の弱点である設備サイズおよび電池寿命の解消のため、列車位置情報を用いた制御を行うことで弱点の解消を図る検討を行ってきた¹⁾。本論文では、内房線大貫SSに貯蔵装置を設置し、フィールドでのBP化による電圧補償効果の検証³⁾ および列車位置情報による貯蔵装置の制御検証を行った結果²⁾ を報告する。

2. フィールド試験の概要

2・1 フィールド選定

前述のとおり、貯蔵装置は内房線大貫SSに設置した。大貫SSは隣接する佐貫町SSから33kVのき電補助線（連絡送電線）を通して受電しており、貯蔵装置に置き換えることで特高用受電設備だけでなく、き電補助線を含む設備を撤去できるメリットがある。試験環境の概略図を図1に示す。

2・2 貯蔵装置の仕様

今回設置した貯蔵装置の仕様を表1に示す。大貫SSの敷地面積を考慮して搬入可能なサイズの貯蔵装置を選定した。表に記載のモードの違いについては、3章にて解説する。

表1 貯蔵装置の仕様とモードの特徴

モード	出力	周期	蓄電池容量	充電	放電	特徴
省エネ (通常制御)				100%5秒 50%20秒 約8.3kWh	50% 30秒 約8.3kWh	列車の回生電力を充電・貯蔵し、貯蔵した電力をなるべく使う通常の省エネ目的の使い方
電圧救済	2000kW	180秒	76kWh	50% 30秒 約8.3kWh	100%5秒 50%20秒 約8.3kWh	車両のパンタ点き電圧が規定値以下にならないよう最低限の放電で電圧救済する
待機				100%5秒 50%20秒 約8.3kWh	- (放電しない)	列車在線がない時間帯に充電を行い、SOCを回復させる

3. 試験方法

本フィールド試験では、車両のパンタ点電圧を救済するための電圧補償試験、および列車位置情報を用いた貯蔵層装置の制御検証試験と大きく分けて2つの試験を実施することとした。

3・1 異常時を想定した最大負荷での電圧補償試験

通常、SSの仕様策定時は隣接SSの脱落時などの最悪条件で最も負荷が大きくなることを想定して検討する。今回のBP化を行ううえでの評価として、隣接SSが受電を停止し、かつ想定しうる最大編成数での同時力行を行った時の電圧補償効果を確認することとした。具体的には隣接SSとなる君津SSの受電停止とした際の、3編成による同時力行で試験を行う。試験は営業時間帯に実施ができないため、営業列車終了後の夜間に試験列車にて走行試験を実施した。概略図を図2に示す。また、本試験で実測とシミュレーションの値を比較することで、電圧補償効果を定量的に報告する。

3・2 列車位置情報制御による試験

通常、貯蔵装置は設置したSSの直流母線電圧を監視して充放電制御を行っていたため、必ずしも電車が必要としないときにも放電を行っていた。過去の検討¹⁾において、列車の位置に応じて充放電を制御することで蓄電池容量の低減、もしくは長寿命化の可能性があることがわかった。よって、構築した制御方式をフィールド試験にて実施することとした。

まず、列車位置情報を用いた制御のシステム概略図を図3に示す。試験用端末（GPS端末）から貯蔵装置設置箇所にある変電所用運行状況管理装置で情報を受信したのち、電力貯蔵装置用制御装置に伝達して制御を行う方式となっている。試験用端末は、汎用のスマートフォンを用いている。使用する情報は列車の位置情報、上下線方向、両数の3つのパラメータである。制御エリアは大貫SS従来の送電エリアである君津SS～佐貫町SSを駅・駅間単位で7つのエリアに分割することで、ダイヤ上の在線状況によって適切な充放電モードを選択する制御を採用している。図4に在線状況と各モードの関係を表したマトリックスの例を示す。また、充放電モードは3つのモードを用意した。それぞれのモードの特徴を表1に示す。

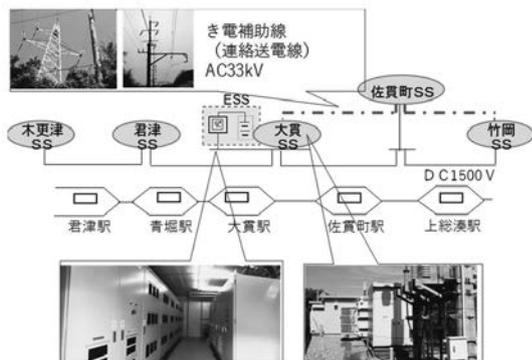


図1 大貫SS付近の概略図

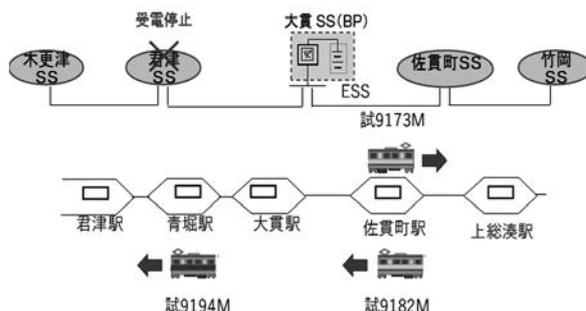


図2 最大負荷での電圧補償試験の概略図

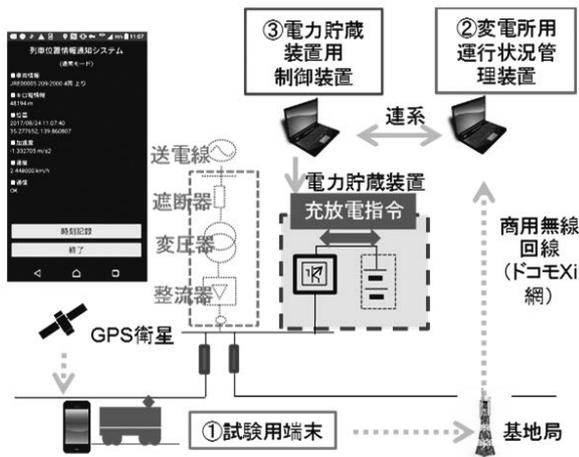


図3 列車位置情報制御の概念図

エリア設定						モード	
君津 ～ 青砥	青砥 ～ 大貫	大貫 ～ 佐賀町	佐賀町 ～ 上総湊	上総湊 ～ 大貫	大貫 ～ 君津		
		(10周：上) (6周：下)		(10周：上)		電圧救済 充電： 1600V 放電： 1350V	在線本数が多く、き 電電圧の低下が想 定される場合
	(10周：上)			(10周：上)	(6周：下)	省エネ 充電： 1650V 放電： 1450V	在線はあるが、き 電電圧が大きく低 下しない場合
	(8周：上) (6周：下)			(10周：下)		省エネ 充電： 1650V 放電： 1450V	在線はあるが、き 電電圧が大きく低 下しない場合
	(8周：上) (6周：下)			(6周：上)		省エネ 充電： 1650V 放電： 1450V	在線はあるが、き 電電圧が大きく低 下しない場合
						得償 充電： 1600V 放電： 1000V	在線がない場合 (充電のみ実施)
						省エネ 充電： 1650V 放電： 1550V	想定外の在線 状況になった時 (ダイヤ乱れ等)
上記以外							

図4 在線状況とモード（充放電設定値の一例）

4. 試験結果

4.1 電圧補償試験

君津SS受電停止時の三編成同時力行走行試験の結果を図5に示す。なお、この試験では位置情報制御を用い、電圧救済モードで充電電圧1600V放電電圧は1300Vとしている。図5より、大貫BPでの直流母線電圧が放電開始電圧の1300Vとなったところで貯蔵装置から放電電流が流れ貯蔵装置の充電率（以下、SOC）が低下し、き電電圧の低下は抑制されていることがわかる。放電開始後30数秒後に放電がなくなるとき電電圧が低下しているが、これは3編成が試験のために意図的に長い時間フルノッチを継続した結果であり、通常の運用では長くても10秒～20秒程度と想定するため大きな問題ではない。次に、最大負荷試験時に最も電圧が低下した9174Mのパンタ点電圧の実測値とBPなしのシミュレーション値の比較を図6に示す。図6より、BPなしに比べて実測値で最大約50V程度電圧が高いことがわかる。よって、異常時での最大負荷条件でもパンタ点で50V程度の電圧補償効果があることが確認できた。BPなしをシミュレーション値とした理由は、BPなしでは電圧低下が見込まれ、万が一を想定して試験は実施できなかったためである。BP時のパンタ点の実測・シミュレーションの値は一致していた。

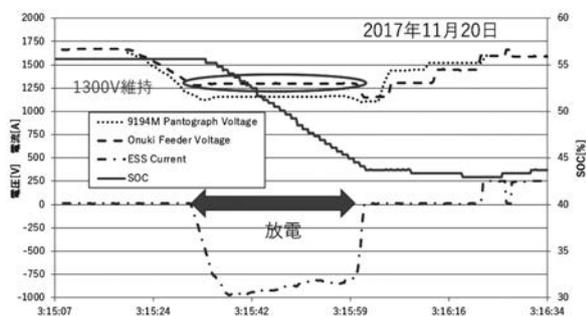


図5 在線状況とモード（充放電設定値の一例）

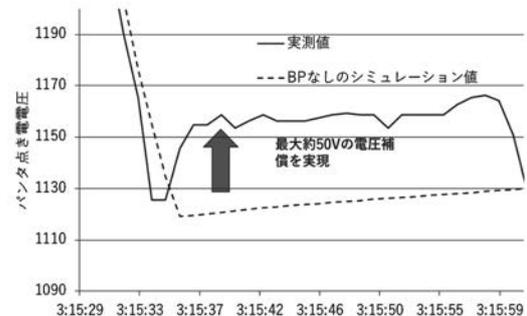


図6 在線状況とモード（充放電設定値の一例）

4.2 列車位置情報の制御試験

本試験は営業時間帯にて大貫SSの整流器を停止した状態で貯蔵装置を起動し試験を実施した。列車位置情報を用いない従来の貯蔵装置の制御（充放電電圧は一定）での試験、および位置情報を用いた制御で試験を実施し、両者を比較することで効果の検証を行った。試験は前者が2017年10月25日、後者が26日に実施している。貯蔵装置従来の制御（通常制御）の試験結果を図7に示す。図7は朝ラッシュ時間帯である朝6時～8時の大貫BPの直流母線電圧、貯蔵装置の充放電（SOC）を示している。

このときは通常制御として充電開始電圧を1650V、放電開始電圧を1550Vとした。直流母線電圧に着目すると7時4分付近、8分付近で大きな電圧低下が見られる。また、SOCに着目すると7時8分以降は充放電を繰り返しながら徐々にSOCが低下していくのわかる。この時間帯は列車密度が過密で直流母線電圧が比較的低くなることから、充電よりも放電が多くなる場合の特徴である。蓄電池容量を決定するうえで重要となるSOCの使用率は約24%となった。

次に、列車位置情報制御の試験結果を図8に示す。また、このときの各モードの充放電電圧を表2に示す。今回、き電電圧が低くなると想定している電圧救済モードとする在線パターンは4つの時間帯で設定している。1つは7時4分台、7～8分台、11～12分、28～30分が該当箇所である。7時4分、8分台に着目すると従来の制御試験では1300V以下まで電圧が低下してしまっていたが、列車位置情報で適切な充放電電圧にコントロールすることで、1300V以上で電圧降下が抑制されていることが分かる。また、不要な放電を抑制していることから通常制御で見られた徐々にSOCが低下していく現象が解消されていることがわかる。SOCの使用幅について着目すると、17%まで抑制することができた。SOCの変化幅の低減は、蓄電池容量の低減に直接影響する。本来、24%必要としていた蓄電池が17%で対応できることがわかったため、相対的には17%/24%で約30%蓄電池容量を削減し、小型化できる可能性を示すことができた。また、小型化が不要な場合でも、SOCの使用率を狭めることで蓄電池の内部抵抗劣化の抑制⁹⁾につながるため、長寿命化を期待することができる。

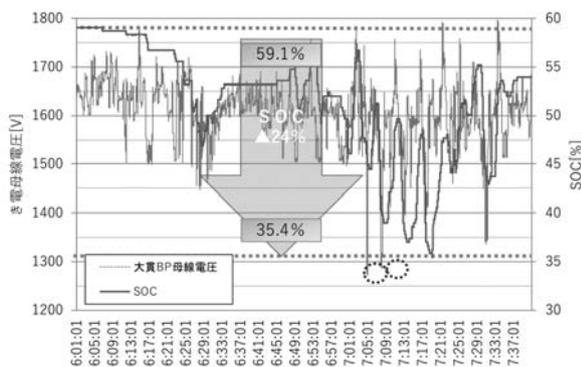


図7 在線状況とモード（充放電設定値の一例）

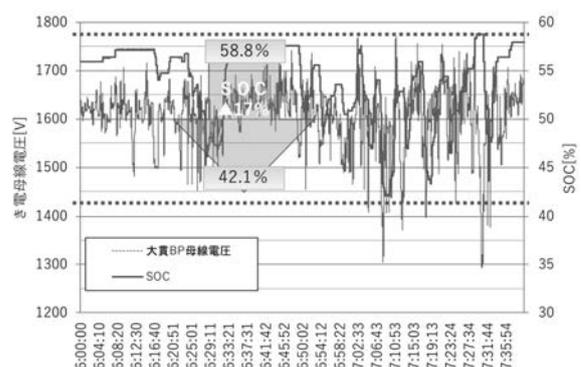


図8 在線状況とモード（充放電設定値の一例）

表2 各モードの充放電設定電圧

モード	放電開始電圧[V]	充電開始電圧[V]
電圧救済	1600	1300
省エネ	1650	1550
待機	1600	1000

5. 実導入に向けて

4章の試験の結果から、BP化による電圧補償を実現し、列車位置情報を用いた制御により蓄電池を小型化できることがわかり、実導入の目途が立った。課題として、実導入を想定するとすべての車両に新たにGPS端末を整備するにはコスト面・運用面でも多くの課題があるため、別の位置情報伝送の手段を検討する必要がある。車両本体からデータ伝送するのが望ましいが、例えば乗務員のタブレットを利用するなど検討する必要がある。

参考文献

- 1) 南之園他「蓄電機能を応用した変電システムスリム化の研究」平成29年電気学会産業応用部門大5-62
- 2) 南之園他「列車位置情報を用いた電力貯蔵装置の制御」平成30年電気学会全国大会5-219
- 3) 南之園他「電力貯蔵装置による電圧降下補償の実証試験」平成30年電気学会産業応用部門大5-17
- 4) 南之園他「電力貯蔵装置を用いた変電システムスリム化の実証試験」JREA 2018年Vol.61, No.9, P21-23
- 5) 米山他「リチウムイオン二次電池の放電深度による寿命予測法」平成17年電気学会産業応用部門大3-195