Special edition paper

蓄電機能を応用した変電システムスリム化の研究

南之園 弘太*1　橋本　慎*1

Simplification of Electric Substation System by Utilizing Energy Storage System

Kota MINAMINOSONO*1, Makoto HASHIMOTO*1

*1 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 SS maintenance cost compared with the number of train is high. When such a substation is exchanged by aging, it's desirable to change the SS to sectioning post(SP). But if it changes to SP, the voltage of pantograph should be lower. In this research, we focused on energy storage system (ESS) to solve the problem of pantograph's low voltage, and try to simulate the effect when the Oonuki SS in Uchibo line is replaced to SP by using ESS (BP). And so on, as an additional value, we consider an effective way of ESS's discharge-charge behavior by using information of train position.

●***Keywords*:** Energy Storage System(ESS), Voltage compensation, Discharge-charge, Information of train position

1. はじめに

変電所（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、運行列車本数に比べ変電所の維持費用の割合が大きく、変電所の老朽化による機器更新に合わせて変電所をき電区分所（SP）に変更し、更新費用および保守費用を低減することが検討されている。しかし、変電所をき電区分所に変更した際のき電区分所地点でのき電線電圧・車両のパンタ点電圧は低下し、車両の運行状況によっては車両のパンタ点で必要とする最低電圧を下回ることが懸念される。

本研究では、車両パンタ点電圧の低下を補償するために、き電区分所に[1]回生電力貯蔵装置（以下、貯蔵装置、ESS）を用いた電圧補償装置を導入すること（BP）を検討することとした。検討モデルは、特殊設備である33kV送電線から受電している大貫変電所をモデルとした。また、本研究では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、外部情報を用いて適切な充放電が可能かどうかを検証し、貯蔵装置の更なる有効活用を視野に入れ検討を行った。

2. 電圧補償の考え方

き電線電圧降下補償に貯蔵装置を適用する際に、大きく2つの基本方針が考えられる。一つは整流器代替方式（貯蔵装置で既設整流器と同等出力を代替する方法、図1）、もう一つは補完方式（既存の隣接変電所に負荷分担を頼った状態で必要最低限の補償を当該き電区分所に設置した貯蔵装置で補完する方式、図2）である。前者は設備容量が過大になりコストも大きくなることが想定されるので、今回は後者の補完方式で検討を行うこととした。

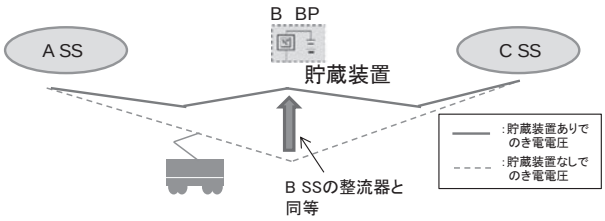

図1　整流器代替方式

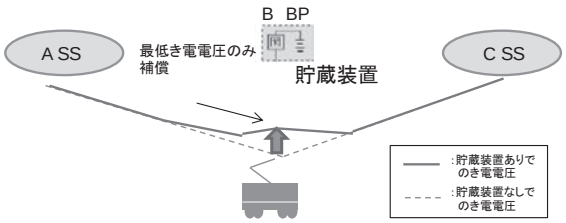

図2　補完方式

*1JR東日本研究開発センター　環境技術研究所　研究員

3. モデル箇所での貯蔵装置導入解析

3・1 ワーストケースでの解析

モデル箇所での大貫変電所におけるワーストケースとして考えられるパターンは、大貫変電所のき電区間において、4編成が同時力行することである。概略図を図3に示し、解析条件は表1に記載のとおりである。貯蔵装置の諸条件は表2に示す（電池出力・容量・放電時間）。また、充電開始電圧は1600V、放電開始電圧は1300V、初期の充電率は60%とした。以上の条件より、それぞれの仕様ごとに解析を行った結果を表3に示す。判定の基準は、当社で定める通常時での通勤エリアにおける最低車上電圧である1100Vを採用している。表3中の各車両の最低パンタ点電圧にばらつきが出るのは、各車両の進行方向や両数などの違いにより、その差が表れている。表3より、ワーストケースで最低電圧1100Vを補償するためには仕様番号8、10である必要がある。本項の結果より表2の仕様番号8の仕様にて実ダイヤでの解析を進めることとした。

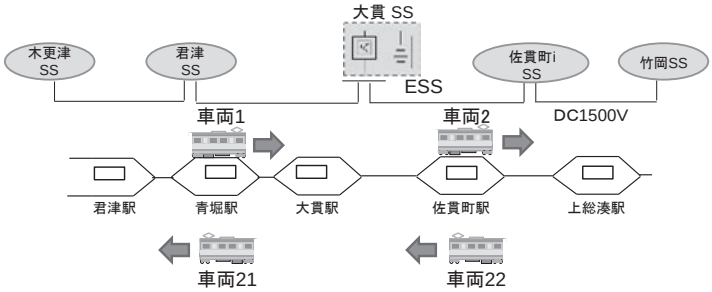

図3　ワーストケースでの概略図

表1　解析条件

乗車率	100%
き電抵抗（君津SS～君津駅）	0.0364Ω/km
き電抵抗（君津駅～竹岡SS）	0.0366Ω/km
ノッチ	5
整流器レギュレーション	8%
無負荷電圧	1620V

表2　貯蔵装置の諸条件

仕様番号	出力 [kW]	充放電時間[s] 放電 1pu	放電 0.5pu	充電 0.5pu	電池容量 [kwh]（個）
0	Without ESS				
1	1500	10	10	30	83.7(88)
2	2000	10	10	30	76(80)
3	2000	10	10	30	114(120)
4	2000	10	30	50	183(192)
5	2000	15	45	75	304(320)
6	2000	20	60	100	365(384)
7	3000	10	30	50	304(320)
8	3000	15	45	75	457(480)
9	4000	10	30	50	365(384)
10	4000	15	45	75	609(640)

表3　ワーストケースの分析結果

仕様番号	最低パンタ点電圧[V] 車両 1	車両 2	車両 21	車両 22	SOC 変化量 [%]	判定結果
0	1109	1061	1119	1050	–	–
1	1110	1085	1139	1050	8	×
2	1110	1085	1143	1050	11.8	×
3	1110	1085	1143	1050	7.9	×
4	1130	1097	1143	1073	8.1	×
5	1131	1105	1152	1085	7.2	×
6	1132	1115	1156	1086	8.1	×
7	1140	1113	1153	1077	7.3	×
8	1142	1122	1162	1103	7.2	○
9	1142	1133	1167	1084	8.1	×
10	1153	1142	1176	1121	7.3	○

3・2 実ダイヤでの検討

実ダイヤでの解析は2015年度のダイヤを用いて行う。パラメータとして、時間帯・乗車率・き電状態(隣接変電所の脱落の有無)・貯蔵装置の有無を変化させて効果を検証する。そのほかの検討条件は3・1項と同様の条件とし、解析のパターン、及び解析結果を表4に示す。解析の判定結果はき電状態によって規定値が異なるため、判定条件は正常時で最低パンタ点電圧が1100V、隣接SS脱落時で900V以上確保とする。表4より、実ダイヤケースAの場合が唯一最低車上電圧である1100Vを下回っていたが、実ダイヤケースBで貯蔵装置を整備した場合、電圧救済によって最低車上電圧を満たすことがわかった。実ダイヤケースAの電圧波形を図4、実ダイヤケースBの電圧波形を図5に示す。なお、図4、5に記載の138M、3637Mは該当の車両の列番を示す。図4より、貯蔵装置が無い状態では1100Vを下回っているが、図5では貯蔵装置の放電により100V程度電圧救済されていることがわかる。

一方で表2の仕様番号8の仕様では設置面積が約200m²（大貫変電所の敷地面積は約400m²）と大きくなり、変電所の更新エリアとして確保している土地には収まらない課題がある。よって、次項では貯蔵装置のサイズダウンの検討を行う。

表4　実ダイヤでの分析結果

実ダイヤケース	時間帯	乗車率[%]	き電状態	貯蔵装置	判定結果
A	朝のラッシュ	150	通常	なし	×（1096 V）
B				有り	○(1145 V)
C			隣接変電所SP扱い	なし	○(927 V)
D				有り	○(974 V)
E		100	通常	なし	○(1125 V)
F				有り	○(1192 V)
G			隣接変電所SP扱い	なし	○(985 V)
H				有り	○(1042 V)
I	夕方閑散時間	100	通常	なし	○(1240 V)
J				有り	○(1248 V)
K			隣接変電所SP扱い	なし	○(1045 V)
L				有り	○(1090 V)

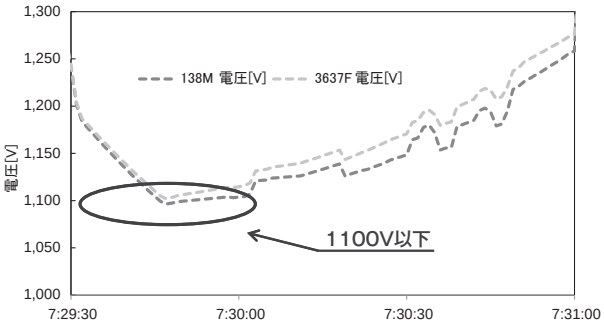

図4　実ダイヤケースAの電圧波形

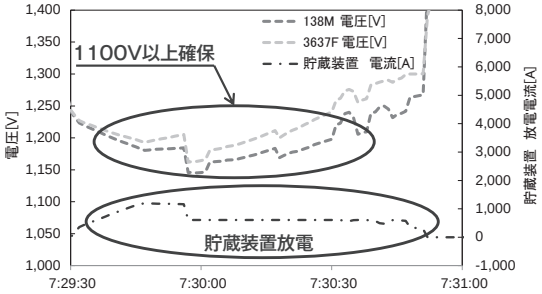

図5　実ダイヤケースBの電圧電流波形

3・3 貯蔵装置低容量化に向けて

元来、貯蔵装置は変電所の母線電圧を監視して充放電の制御を行っている。母線電圧が放電開始電圧となった場合放電を行うが、実際のパンタ点電圧は救済の必要がない状態の可能性がある。例として、表4における実ダイヤケースC、D（今回は佐貫町SS脱落）での比較を行う。図6に実ダイヤケースCの電圧波形を示す。変電所脱落時の最低パンタ点電圧は900V以上になるので、電圧救済の閾値を1000Vとして考えると、本来救済が必要なタイミングは1回のみである(充電率[以下、SOC]変化幅18%)。一方で、図7に示す実ダイヤケースDの電圧波形では本来救済が不要なタイミングでも放電し、計6回の放電を示している（SOC変化幅30%）。必要な1回のみを補償する場合、必要な蓄電池容量はSOCの変化幅でみると18%/30%×100=60%となり40%減ずることができる。この結果より、実際の列車位置を特定できれば、放電回数が大幅に減り蓄電池の少量化・小型化に直結し、寿命延伸の可能性もあることがわかった。

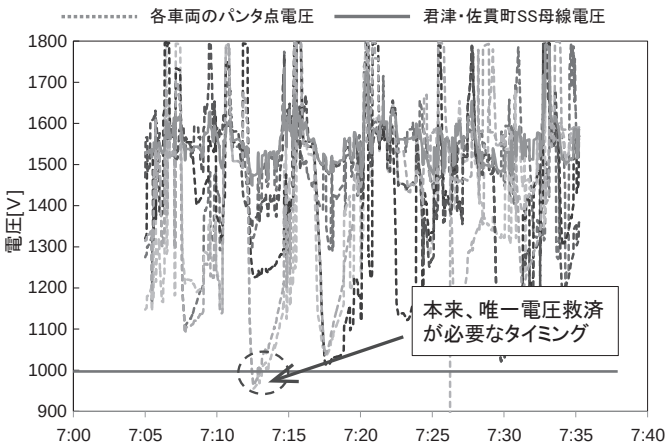

図6　実ダイヤケースCの電圧波形

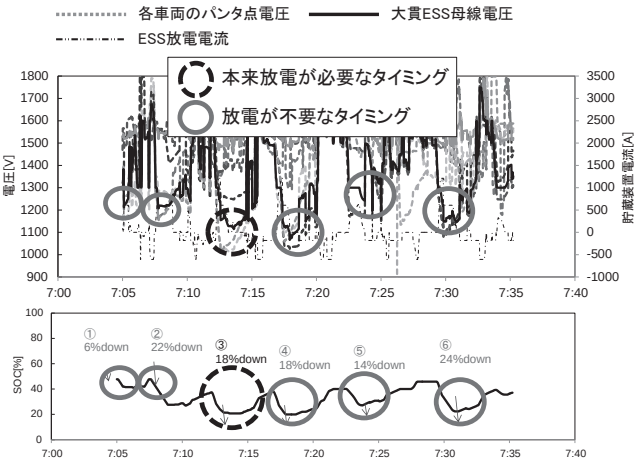

図7　実ダイヤケースDの電圧電流波形および充電率

4. 貯蔵装置の制御方法の検討

4・1 制御方法の選定

電力貯蔵装置の適切な充放電制御を行ううえで、貯蔵装置単独ではなく外部情報が必要であることが考えられる。考えられる外部情報としては、隣接変電所の電力情報や車両データ、列車位置情報などがある。中でも、列車位置情報が伝送方法、コスト、導入方法を考慮すると最も効果的であると考えられるため、本研究ではGPS機能を用いた列車位置情報に着目して取組むこととした。ハード・ソフト両面での開発は必要だが実現可能な手法と位置づけ検討することとした。列車位置情報としては列車位置、列車両数、列車進行方向の3つのパラメータを使用することとする。この3つのパラメータを貯蔵装置用の運転モード制御装置に入力されることを前提とすると、システム構成を図8に示す。

4・2 モード設定・制御

不要な充放電をなくすための方法として列車位置情報を判定しその列車位置に応じた貯蔵装置のモードを選択する制御が考えられる。このモードを「電圧救済モード」「省エネモード」「待機モード」とした。電圧救済モードとは、貯蔵装置付近のエリアで列車が在線している際、電圧補償をしやすい電圧設定にするモードである。電圧降下が大きくなると想定される列車在線の場合はこのモードになるよう設定する。省エネモードとは、列車位置把握区間には在線はしているが電圧救済モードほど厳しい在線状況ではない場合のモードである。電圧設定は回生電力の有効活用できるモードとする。待機モードとは、列車位置把握区間に列車が在線していない場合を想定し、放電機会に備えて低SOCの時のみ充電するモードである。以上のモードを駅・駅間を7つのエリアに区切り、それぞれのエリアの在線状況によってモード選択を行う制御を目標としていく。モードとエリアの概念図を設定電圧の例と共に図9に示す。

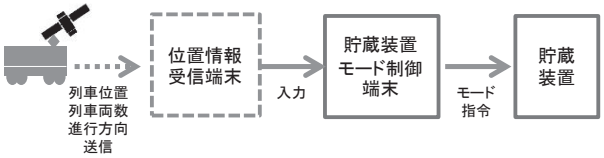

図8　列車位置情報のシステム構成

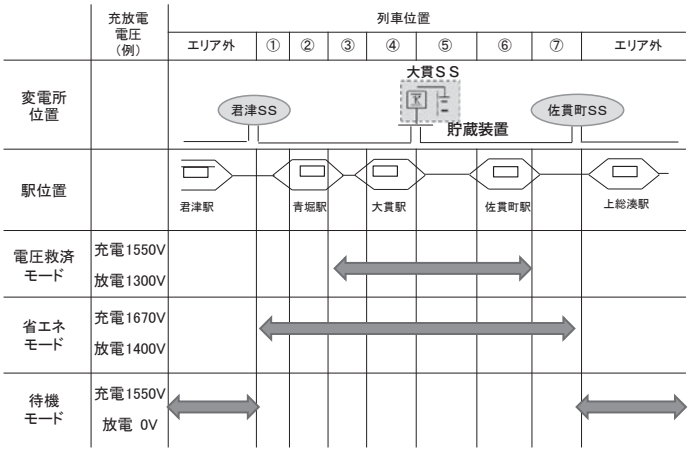

図9　モード制御とエリアの概念図

5. フィールド試験に向けて

前述のとおりワーストケースでの貯蔵装置仕様では大貫変電所には敷地面積の観点で物理的に設置できないため、大貫変電所に設置が可能な仕様で検証をする必要がある。仕様番号2ではワーストケースの仕様は満たしていない（表3）が、充放電開始電圧を調整すれば検証の目的である貯蔵装置の動作状況確認、および列車位置情報の優位性を確認できる。よって、スモールサイズである仕様番号2（2000kW出力、蓄電池容量76kwh）の機器での実証試験を行うこととした。また、列車位置情報については実証試験に向けて、貯蔵装置との連携を目的にモバイル端末のGPS機能を用いて列車の位置情報を送信できるシステムのハード・ソフトを開発し、フィールド試験での制御動作の確認を行うこととした。上記を踏まえフィールド試験では、貯蔵装置の有無による電圧降下補償の差異の確認、列車位置情報を利用した充放電制御の効果およびその実効性、モバイル端末のGPS機能を用いて列車の位置情報を送信できるシステムのハード・ソフトを開発の3点を検証する。

参考文献

1）真岡外：「回生電力貯蔵システムによる列車自力走行試験とその評価」，日立評論，Vol.96，(2014)