

電力貯蔵装置によるき電末端区間の電圧補償検討

1. はじめに

き電末端区間の末端において電車が力行する際、架線に大きな電圧降下が生じます。国鉄時代よりき電末端区間に片送りき電する変電所にはき電電圧補償装置（DC Voltage Regulator：DCVR）を設置して、この電圧降下を補償してきました。表1に当社におけるDCVRの導入実績および現在の運用を示しますが、車両の短編成化による負荷電流の減少や変電所の新設による電圧降下低減のため、草津線甲賀変電所を除いた全ての変電所においてDCVRが不要となり撤去されています。甲賀変電所については現時点で車両の短編成化や変電所新設が計画されておらず、今後も電圧補償が必要です。しかしながら、各メーカーにおいてDCVRの生産が終了しているという課題があり、今後は別の手法による電圧補償が求められています。

電力貯蔵装置（Energy Storage System：ESS）は任意に設定した動作電圧に応じて架線から充電または架線へ放電を行う装置です。一般的に、ESSは未活用の回生電力を一旦充電し、電車が力行する際に放電して回生電力の有効活用を図る装置です。今回は、無負荷時または軽負荷時に充電し、DCVRによる電圧補償を必要とする重負荷時に放電することで、DCVRの代替装置としてESSにより電圧補償を行う試験を実施しました。

2. 試験条件

(1) 試験フィールド

当社において現在DCVRを運用している唯一の線区である草津線を試験フィールドに選定しました。草津線は柘植駅（起点駅）から草津駅（終点駅）を結び、その間に9駅が所属します。柘植駅は非電化区間である関西本線と接続され、草津駅は電化区間である東海道本線と接続されます。草津線は甲賀変電所、甲西変電所を有し、これら2変電所間および甲西変電所から草津駅方面では並列き電を行っています。一方、甲賀変電所から柘植駅間では片送りき電を行っており、柘植駅がき電末端に位置します。

甲賀変電所から柘植駅間において最も電圧降下が激しくなるのが、柘植駅を列車が出発する際の柘植駅構内の架線電圧です。社内規程では最低架線電圧を900Vと規定していますが、電車遅れ等により負荷が集中する場合は想定して1,000Vを確保することを目標としています。現状では甲賀変電所から柘植駅間のき電線としてHAL 510sq 3条を敷設して、甲賀変電所にDCVRを設置することで電圧補償を行っています。今回はDCVRの代わりに電圧補償を行う手段として、図1のとおり柘植駅構内にESSを設置しました。

表1：DCVRの運用状況

線区	変電所	運用	廃止の理由
紀勢線	双子山	廃止	車両の短編成化
	和深	廃止	
伯備線	井倉	廃止	
山陰線	城崎	廃止	変電所新設
草津線	甲賀	運用中	

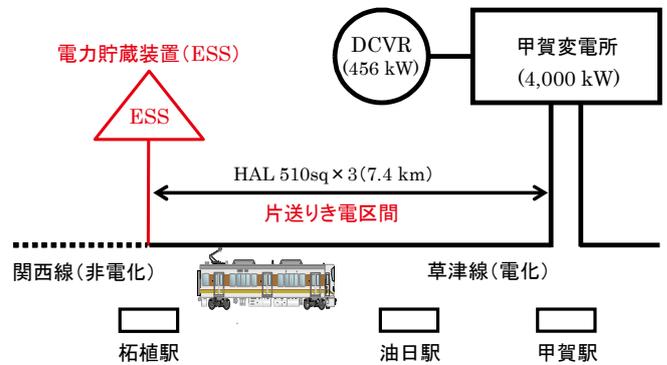


図1：甲賀変電所～柘植間のき電系統図

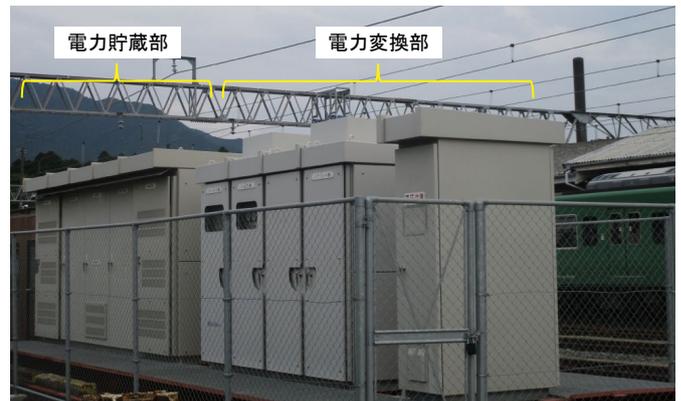


図2：ESSの外観

表2：ESSの設備諸元

制御方式	PWM (720 Hz)
蓄電池種類	リチウムイオン電池
蓄電池容量	428～728 kW 相当 67～115 kWh
動作電圧	1000 V ～ 1800 V (架線側)



(2) ESSの仕様

ESSは主に蓄電池に電力を貯蔵する電力貯蔵部、回生電力と蓄電池の貯蔵電力を変換・制御する電力変換部から構成されます。図2に柘植駅構内に設置したESSの外観を、表2に設備諸元を示します。本ESSは蓄電池セルのつなぎ替えにより蓄電池容量を変換することができます。また、ESSの動作を決定するパラメータは動作電圧であり、図3に示すように充放電パターンを設定可能です。充電開始電圧はESSへの充電が開始される電圧、定電流充電電圧はESSへの充電電流が一定値となる電圧です。

3. DCVR稼働条件での電圧補償試験

(1) 試験方法

ESSを活用した電圧補償により最小架線電圧を1,000V以上確保できるか検討するために、DCVRを停止させた状態でESSを稼働させ、電圧補償試験を実施しました。本試験では試験対象列車として、営業時間外に試験列車を走行させましたが、柘植駅を発車する最大負荷に相当する225系8両を試験列車として選定しました。事前にシミュレーションを行うことで充放電パターンを検討し、試験条件を表3の通りとしました。試験回路である図4において、「変電所電流」「ESS電流」「架線電圧」の時刻変動を測定しました。また、比較用のデータとしてESS、DCVRを共に停止させた条件で架線電圧を測定しました。

(2) 試験結果

図5に電圧補償試験結果を示します。架線電圧が放電開始電圧を下回った時点でESSが放電を開始しており、ESSが停止している場合より最小架線電圧が90V程度改善しました。また、本試験におけるESSの最大出力は362kW相当であり表3の蓄電池容量を下回っていたため、蓄電池容量の観点からも問題がないことを確認できました。以上より、本ESSを活用することで、柘植駅を発車する各列車に対して最小架線電圧を1,000V以上確保できることが分かりました。

4. おわりに

甲賀変電所に設置されたDCVRの代替として、柘植駅に設置したESSで電圧補償を試みました。その結果、架線電圧を目標値以上に維持できることを計算と実測により確認することができました。

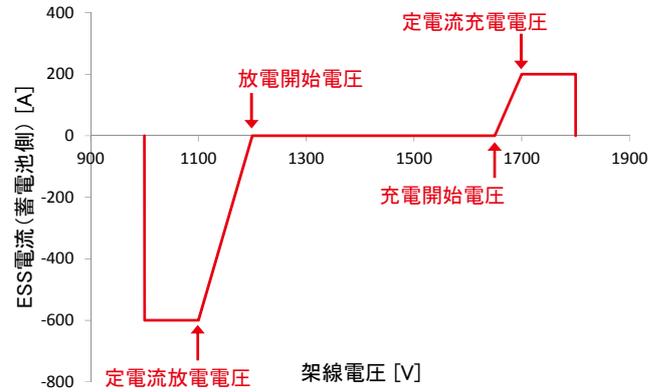


図3：充放電パターンの設定例

表3：試験条件

試験対象列車	225系8両1編成
定電流放電電圧	1,100
放電開始電圧	1,150
充電開始電圧	1,700
定電流充電電圧	1,750
蓄電池容量	456 kW相当、72 kWh

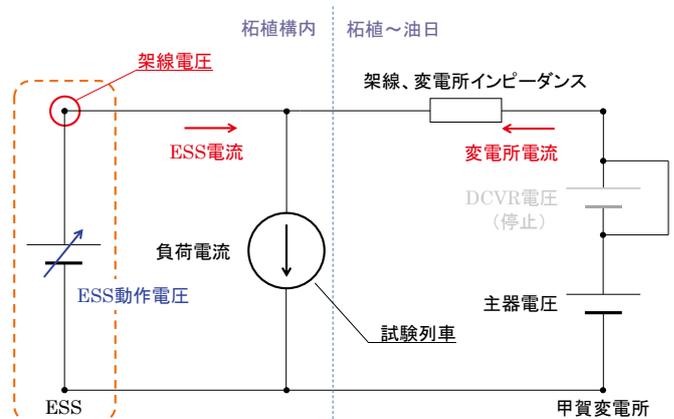


図4：試験回路

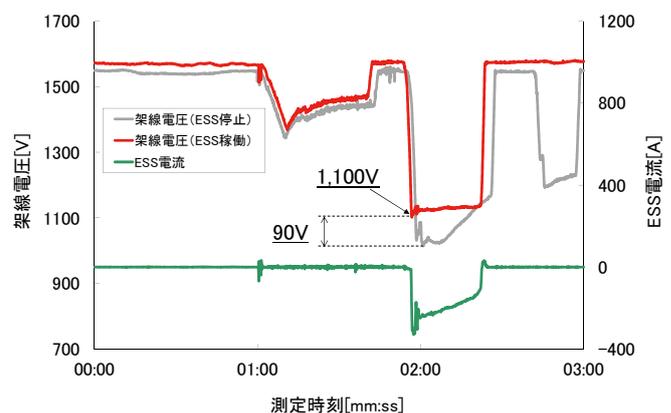


図5：試験結果