

変電所運転休止時における電力特性の検討



小野 泰寛*1



木幡 陽介*2



中村 岳彦*3

Study on power properties at suspension of substation

Yasuhiro ONO*1, Yosuke KOHATA*2, and Takehiko NAKAMURA*3

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

*2 Assistant Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory of JR EAST Group

*3 Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory of JR EAST Group

Abstract

The voltage drop that occurs when the rectification function of a DC railway substation stops is thought to have the effect of reducing energy by utilizing unused regenerated power and eliminating no-load losses of stopped equipment and increasing energy by increasing transmission losses. In order to evaluate these changes in power volume, the authors conducted simulations and actual measurement tests in which the substation's rectification function was stopped, targeting the Shiraoka substation on the Tohoku Main Line. This study clarified the respective effects and their magnitude relationships, and quantitatively clarified that the power consumption at the Shiraoka Substation increases.

●**Keywords:** Regenerative power, Suspension of rectifier function at substation, Restriction of regenerative breaking

*1 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 研究員 (現:長野支社 長野電力設備技術センター 指導係)

*2 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 副主幹研究員

*3 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 主幹研究員

1. はじめに

車両の制動時に発生する回生電力は、架線電圧を上昇させることで、付近の力行車両へ電車線路を通じて融通される。直流電気鉄道においては、電力回生時の架線電圧上昇が一定値を超えないよう、車両側で回生絞り込み制御を行っている。この制御により不足する制動力は機械ブレーキで補償を行うため、本来回生電力として活用できるエネルギーが熱として放出される。これまで当社では更なる省エネルギー化を目指し、変電所直流母線電圧を低下させることで回生絞り込み制御の発生を抑制する手法について検討を行い、消費電力量削減効果を確認した¹⁾²⁾。一方で送電電圧が常時低下した状態となる従来手法では、定められたき電電圧下限値を維持することが可能な箇所に適用が限定されてしまうという課題も存在している。

この課題を解決する一手法として、停電手配の一種である変電所運転休止の実施時に発生する電圧低下に着目した。本手法では負荷が比較的小さい軽負荷時間帯を指定し、自動制御で電圧低下を発生させることが可能である。本稿では、本手法の回生電力有効活用効果およびその電力特性を確認するため、東北本線白岡変電所において実施したシミュレーション解析および実測試験の結果について報告する。

2. 試験概要

2・1 変電所運転休止

本稿における変電所運転休止とは、直流電鉄用変電所において整流器用遮断器を開放し、整流器用変圧器および整流器が全て停止した状態を意味する。き電回路上、運転休止変電所は直流き電方式におけるき電区分所と同様の構成とみなすことができる。この時、休止変電所付近においては、負荷への送電距離が変電所運転時と比較して長くなることにより、列車在線時を中心に電圧低下が発生する。変電所運転休止時における系統の概略図を図1に、き電回路の電圧分布イメージを図2に示す。

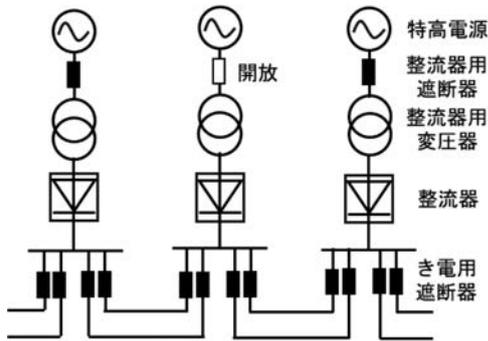


図1 変電所運転休止時の系統概略図

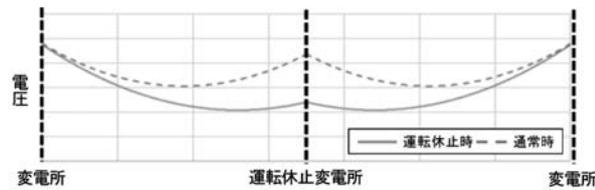


図2 電圧分布イメージ図

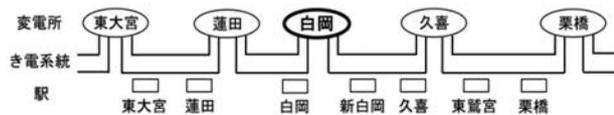


図3 東北本線のき電系統概略図

2・2 フィールドの選定

東北本線大宮～宇都宮間は先行研究において回生絞り込み制御の断続的な発生が確認されている³⁾。同区間に設備された変電所の中で、変電所運転休止の実施が可能である白岡変電所をフィールドに選定し、軽負荷時間帯である昼間帯(10:00-16:00)に変電所運転休止を行う条件での検討を行った。東北本線のき電系統概略図を図3に示す。

3. 試験手法

き電回路において電圧低下が発生した場合、省エネルギーに作用する電力量の変化(以下、省エネ要素とする)である発生回生電力量の増加、増エネルギーに作用する電力量の変化(以下、増エネ要素とする)である送電損失量の増加が発生する⁴⁾。それに加え、変電所運転休止を実施した場合は、省エネ要素である無負荷損失の削減が発生すると考えられる。今回の試験では、これらの大小関係、最終的なエネルギー削減効果を把握するために実測試験を行った。また、気温変化や列車ダイヤなどの外乱要素を除外した効果を確認すること、実測では測定が難しい項目について評価することを目的に、シミュレーションも実施した。具体的に評価を行った項目について、以下に記載する。

3・1 シミュレーションによる各電力量変化の確認

省エネ要素として各き電区間における回生絞り込み量の変化および無負荷損失削減量について、増エネ要素として送電損失量について、それぞれ確認を行った。シミュレーション範囲については、電圧低下が発生すると考えられる東大宮変電所～栗橋変電所とした。無負荷損失については、今回の停止機器である整流器用変圧器および整流器について確認を行った。ここで検討した電力量は変電所運転休止時間帯の合計値とした。

3・2 実測試験による各駅到着時の発生回生電力量・各駅発車時の変電所送出電力量の確認

省エネ要素として各駅到着時の回生絞り込み量の変化、増エネ要素として各駅発車時の変電所送出電力量の変化について、それぞれ確認を行った。

測定範囲は、電圧低下が発生すると考えられる、蓮田駅～東鷺宮駅とした。車両走行データは通常時と変電所運転休止時で上下各12列車ずつデータ取得を行い、測定値の平均値と比較を行った。列車が駅到着時に減速を開始する速度、列車が発車時に力行を終了する速度のばらつきによる影響を除外するため、どちらも0 km/h～85 km/hの範囲内での電力量を確認した。ここで検討した電力量は1列車あたりの値とした。

3・3 実測試験による変電所消費電力量の確認

最終的なエネルギー削減効果を確認するため、変電所で計測された消費電力量の変化について比較を行った。通常時に運転休止変電所から供給されている電力は、変電所運転休止時において、運転休止変電所の隣接変電所から主に供給されると思われる。そのため、測定範囲はこの条件に当てはまるよう、蓮田変電所～久喜変電所とした。ここで検討した電力量は変電所運転休止時間帯の合計電力量の平均値とした。

4. 試験結果

4・1 シミュレーションによる各電力量変化の確認

変電所運転休止時間帯(10:00-16:00)の測定区間における回生絞り込み量の変化について図4に、送電損失量の変化について図5にそれぞれ示す。図4のとおり、回生絞り込み量は測定区間内で上下計11.9 kWh減少しており、変電所運転休止実施による回生電力活用効果を確認できた。また無負荷損失の削減量は19.6 kWhであった。一方で図5のとおり、送電損失量は上下計301.1 kWh増加した。このことより、省エネ要素は増加したものの、増エネ要素の増加量がさらに大きくなることが確認できた。

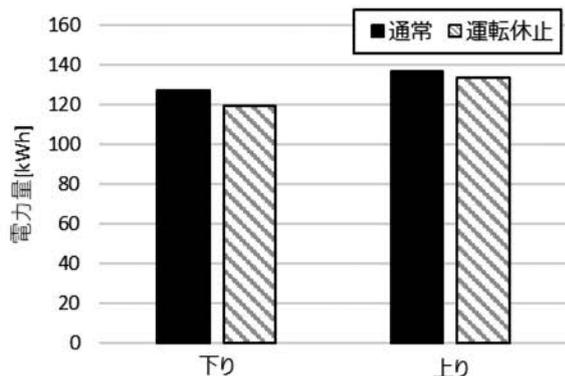


図4 回生絞り込み量の変化

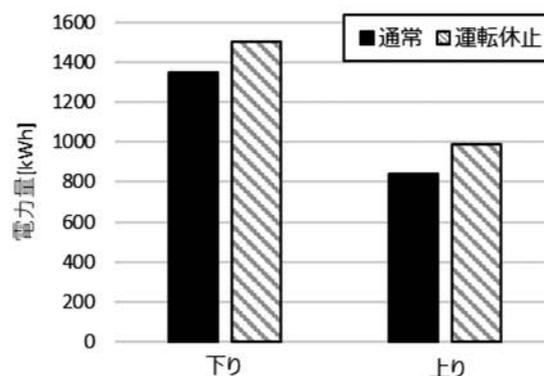


図5 送電損失量の変化

4・2 各駅到着時の発生回生電力量・各駅発車時の変電所送出電力量

ここでは、上り列車の結果について述べる。発生回生電力量の測定結果について図6に、変電所送出電力量の測定結果について図7にそれぞれ示す。これらは前述のとおり、1列車あたりで発生した電力量実測値の平均値である。図6のとおり、発生回生電力量は概ね各駅で増加しており、合計で3.7 kWhの増加となった。一方で変電所送出電力量は、図7のとおり、運転休止変電所から比較的近い白岡駅・新白岡駅発車時において主に増加し、合計で6.3 kWh増加した。このことから、実試験においてもシミュレーションと同様に、省エネ要素の増加は確認できたものの、増エネ要素の増加量がさらに大きいことが確認できた。

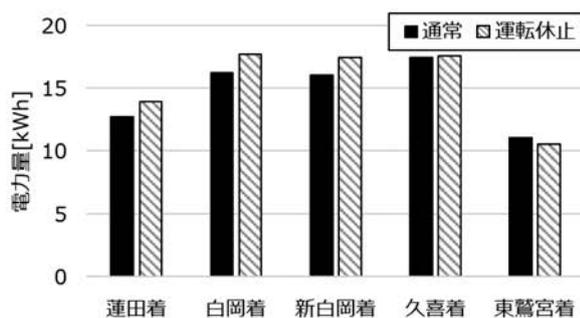


図6 各駅到着時の発生回生電力量

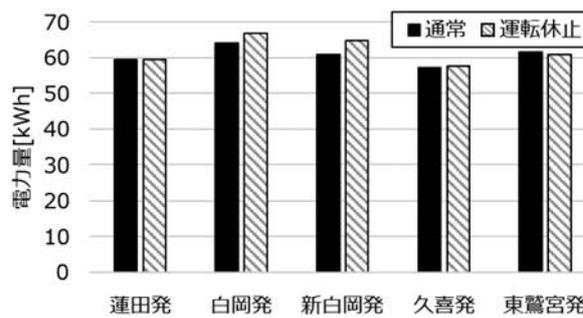


図7 各駅発車時の変電所送出電力量

4・3 変電所消費電力量

変電所運転休止時間帯(10:00-16:00)における、変電所消費電力量の測定結果について図8に示す。図8のとおり、白岡変電所運転休止によって、消費電力量が721 kWh増加した。

4・4 消費電力量増加の要因推察

上記のように白岡変電所を運転休止とした場合、省エネ要素を増加させる効果は確認できたものの、増エネ要素がそれを上回り、消費電力量が増加することが分かった。図9に通常時と運転休止時の白岡変電所母線電圧の推移の一部を示す。運転中の変電所母線電圧は、回生車在線時には電圧上昇、力行車在線時には電圧低下、惰行列車在線時、列車在線無し時には無負荷電圧付近を推移する。図9のとおり、運転休止時の波形は力行車在線時のみ大幅な電圧低下が発生し、それ以外のタイミングでは通常時と近い波形推移となっていることが確認できる。このことから、力行車在線時に発生した回生に対してのみ回生絞り込み

が抑制され、それ以外のタイミングの回生は従来と同程度の回生絞り込みが発生したものと推察される。一方で、送電損失量の増加については、力行の都度発生することから、送電損失量の増加が大きくなり、結果として消費電力量が増加したと考えられる。

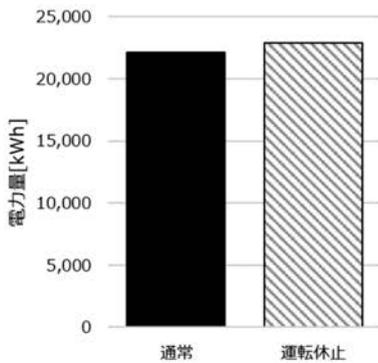


図8 変電所消費電力量

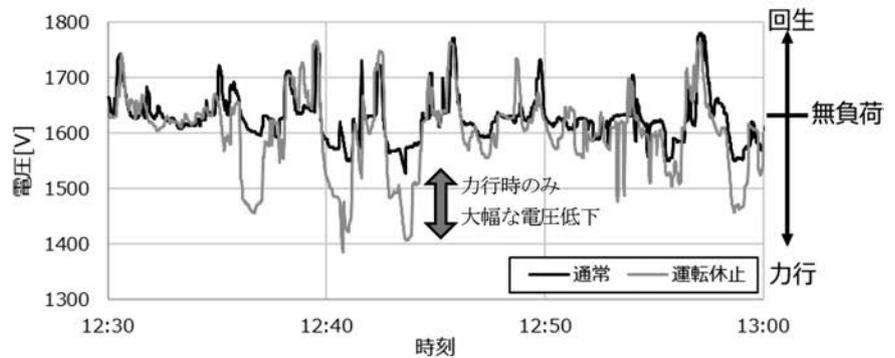


図9 白岡変電所母線電圧推移 (一部時間帯抜粋)

5. 今後の展望

上記の試験結果のとおり、白岡変電所の運転休止により消費電力量が増加する結果となった。一方で、回生電力量増加の効果も同時に確認できていることから、常時力行車が存在する列車密度で、電圧低下が発生する頻度の高い線区においては消費電力量削減効果を見込める可能性がある。今回の結果で、シミュレーション解析と実測試験が同一の傾向を示したことから、今後はシミュレーションを用いて適用可能線区があるかについて検討を進めていく。

参考文献

- 1) 吉永他：「き電電圧変更による回生電力有効活用」, JREA(日本鉄道技術協会), Vol.66, No.9(2023)
- 2) 吉永他：「直流電気鉄道におけるき電電圧と回生絞り込み量との相関性に関する検証」, 令和4年電気学会全国大会, No.5-159, pp.267-268 (2022)
- 3) 水口他：「東京近郊区間における運転エネルギーの測定と分析」, 第23回鉄道技術連合シンポジウム, pp563-566 (2016)
- 4) 木幡他：「直流変電所の母線電圧低下による省エネ効果の考察」, 令和5年電気学会産業応用部門大会, No.5-30, pp183-186 (2024)