

き電電圧変更による回生電力活用検証試験(横浜線、横須賀線)



中西 健太*1



木幡 陽介*1



中村 岳彦*2



吉永 孝*3



西 健太郎*4

Verification test on the utilization of regenerated power when the bus voltage of substation is lowered on the Yokohama Line and Yokosuka Line

Kenta NAKANISHI*1, Yosuke KOHATA*1, Takehiko NAKAMURA*2, Takashi YOSHINAGA*3, and Kentaro NISHI*4

*1,*3 Assistant Chief Researcher, Energy and Environment Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*2,*4 Chief Researcher, Innovation Design Unit of Research and Development Center of JR East Group

Abstract

In order to utilize regenerated power, we conducted the verification test on two lines with different loads, in which DC bus voltage of substations was lowered by approximately 40V from normal. The Yokohama Line has a light load of ten or less cars, meanwhile the Yokosuka Line has a heavy load of fifteen cars. Since appropriate voltage settings according to the situation are important, we will report the verification results regarding energy-saving effects, vehicle voltage, and acceleration. The results of both tests showed that while the train acceleration time slightly increased, the daily energy consumption decreased by approximately 2-3MWh.

●**Keywords:** Regenerative power, Restriction of regenerative braking, DC substation, Bus voltage

*1 JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 副主幹研究員

*2 JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 主幹研究員

*3 JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 副主幹研究員 (現: 電気システムインテグレーションオフィス)

*4 JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 主幹研究員 (現: 千葉支社 千葉電力設備技術センター)

1. はじめに

JR東日本では、表1に示すように鉄道事業にかかわるエネルギー使用量のうち、列車運行に要するエネルギーが約8割を占めている。総エネルギー使用量の低減のためには、多くを占める列車運行用のエネルギーの削減が効果的である。その一環として、制動時に発生する回生電力を有効に活用するため、図1に示すように電力貯蔵装置や回生インバータを直流変電所(以下、「変電所」または「SS」)へ導入する取組みを行ってきた。一方で、設備費用や設置面積などの課題から、いまだ一部の導入に限られている。

これらの背景から、筆者らは列車の運転手法を変えず、設備改良を要しない簡易な手法として、変電所の直流母線電圧(以下、「き電電圧」)を通常より低下させることで、回生電力を有効活用する取組みを行っている。これまで実施した横浜線および横須賀線における試験について報告する。

表1 鉄道事業に関わるエネルギー使用量
(2023年度実績)

本社・支社ビル等	0.7億kWh(3万t-CO ₂)
在来線運転*	25.2億kWh(90万t-CO ₂)
新幹線運転	13.1億kWh(48万t-CO ₂)
駅・車両センター等	8.4億kWh(31万t-CO ₂)
合計	47.4億kWh(172万t-CO ₂)

*BRT(バス高速輸送システム)を含む

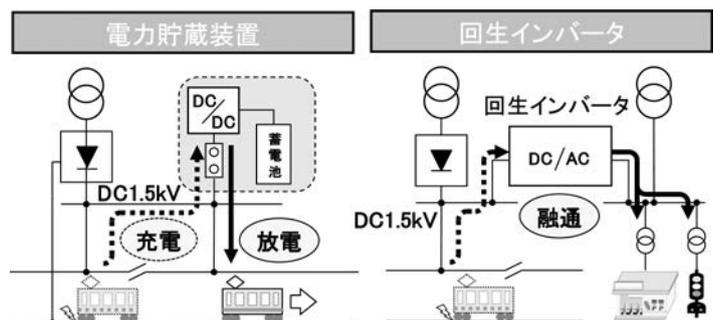


図1 電力貯蔵装置・回生インバータの仕組み

2. き電電圧変更による回生電力の活用検証試験

2・1 回生電力活用の仕組み

電気鉄道において、図2に示すように車両の制動時に発生した回生電力を車両間で融通し活用している。このうち直流電化区間では、変電所にダイオード整流器が設置されていることが多く、回生車両の近くに力行車両がない状況では、回生電力は受電側へ逆潮流せずき電電圧が上昇する場合がある。その場合、電力機器の過電圧防止のため、き電電圧が一定の値（以下、回生絞り込み開始電圧）に達すると、回生車両で回生ブレーキ力を抑制する回生絞り込み制御が動作する。

回生絞り込み制御が動作すると、不足する制動力を機械ブレーキで補うため、本来発生しうる回生電力が熱として消費され、回生電力が有効に活用されない。そこで、図3で示すように変電所の母線電圧を通常よりも低下させることで、き電電圧の上昇幅をより大きくとることが可能となり、回生絞り込みの低減により回生電力量の増加が期待できる。

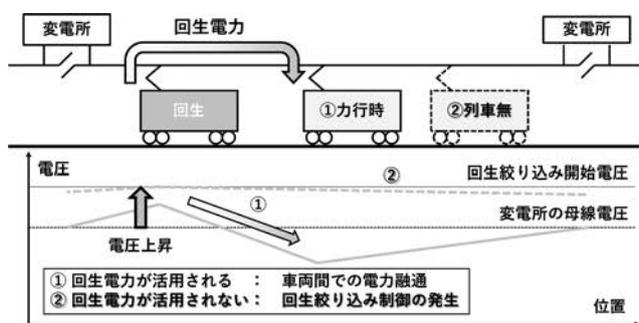


図2 回生電力活用の仕組み

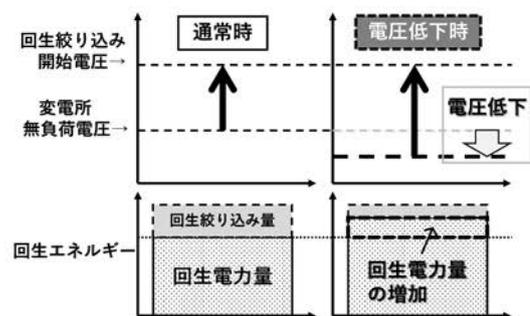


図3 き電電圧低下による効果

一方で、き電電圧を低下させると力行時の電流が大きくなる。これによるき電損失の増加と回生電力の有効活用はトレードオフの関係にある。省エネ効果を得るためには、線区状況に応じた適切な電圧設定が重要となる。10両編成以下が低速で走行する線区を軽負荷線区、15両編成が中高速で走行する線区を重負荷線区と定義し、軽負荷線区として横浜線「橋本～長津田」、重負荷線区として横須賀線「西大井～新川崎」を対象に、き電電圧低下による回生電力の活用検証試験を行った。それぞれの線区の特徴を表2に示す。

表2 負荷の違いによる線区条件の特徴

項目	軽負荷線区	重負荷線区
		横浜線（小机SS～八王子SS）
最大編成車両数	8両	15両
車両重量（最大編成車両数）	（空車）244.7t （100%乗車）313.1t	（空車）497.6t （100%乗車）616.8t
最高速度	95km/h	120km/h
変電所間隔（試験区間平均）	8.5km	4.6km
運転間隔	（朝ラッシュ帯）3分間隔 （昼間帯）5分間隔	（朝ラッシュ帯）4分間隔 （昼間帯）7分間隔

2・2 試験方法

き電電圧変更のため、各変電所における固定タップ式の特高変圧器を1タップ変更し、40V程度き電電圧を低下させた。き電電圧を変更することで、隣接変電所との電圧差によって負荷分担が変化することから、データ分析の観点より3変電所のき電電圧を連続して低下させた。各試験の概要については、次章で述べる。

本試験では、変電所と車両のそれぞれのデータを取得し、変電所データからき電電圧の変更前後における消費電力量の変化を評価し、車両データからき電電圧を下げたことによる車両特性への影響確認を行った。

3. 試験結果の概要

3・1 横浜線試験の結果

横浜線における変電所の位置を図4に、各変電所のき電電圧の変更を表3に示す。き電電圧を低下させる変電所は長津田SS、町田SS、橋本SSの3変電所とした。図5にき電圧変更前後における変電所の消費電力量を示す。変更前では2022年4月の平日5日間、変更後では2022年5月の平日2日間のデータを活用した。結果より、き電電圧を低くしたことで、3 MWh/日程度の消費電力量が低減したことを確認した。これより、き電損失などの増加分より回生電力量の増加分が優勢となり、結果として全体のエネルギー削減効果が得られたと考えられる。

以上より消費電力量の削減効果が認められたため、2022年9月よりき電電圧を低下させた状態を継続して運用している。電圧変更後の1日あたりの消費電力量を図6に示す。なお、コロナ前後の乗車率の違いを考慮するため、消費電力量は乗車率に応じた補正を行っている。平均気温が大きかった2023年夏を除き、継続して消費電力量削減効果を確認した。

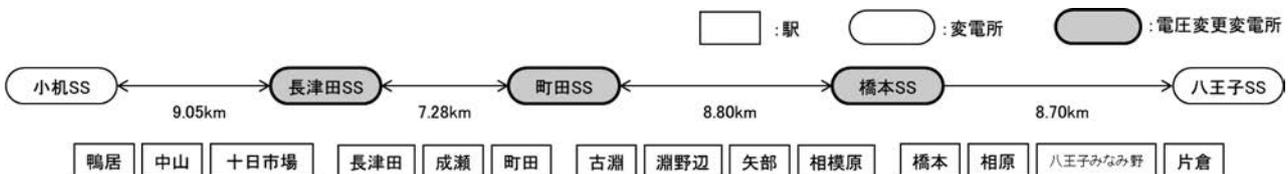


図4 横浜線における変電所の位置

表3 試験前後のき電電圧（無負荷時）

変電所名	き電電圧(無負荷時)		
	変更前	変更後	増減
小机SS	1,627V	1,627V	±0V
長津田SS	1,590V	1,555V	-35V
町田SS	1,620V	1,584V	-36V
橋本SS	1,620V	1,602V	-18V
八王子SS	1,697V	1,697V	±0V

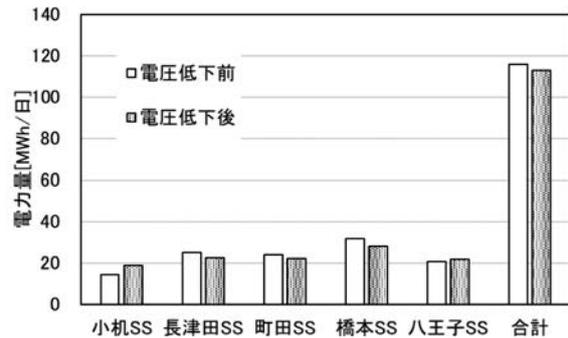


図5 変電所消費電力量の検証効果（平日）

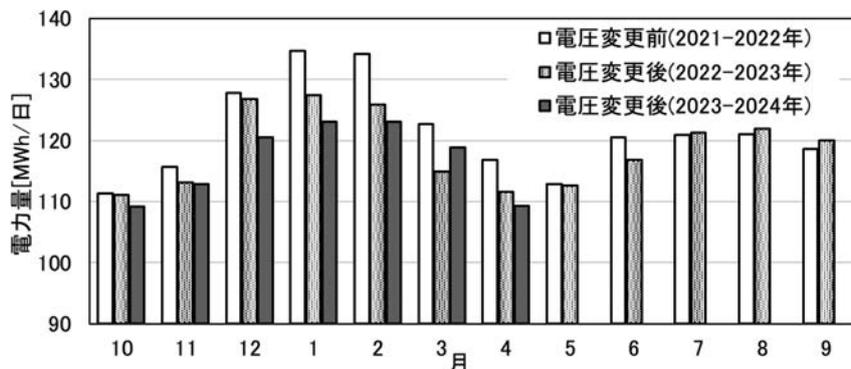


図6 電圧変更前後の消費電力量

3・2 横須賀線試験の結果

横須賀線試験では、2023年10月の1週間に馬込SS、市の坪SS、新鶴見SSのき電電圧を低下させて実施した。試験区間における各変電所および各駅の位置を図7に、各変電所のき電電圧の変更を表4に示す。

表4 試験前後のき電電圧(無負荷時)

変電所名	き電電圧(無負荷時)		
	変更前	変更後	増減
品川SS	1,620V	1,620V	±0V
馬込SS	1,620V	1,584V	-36V
市の坪SS	1,620V	1,584V	-36V
新鶴見SS	1,590V	1,555V	-35V
鶴見SP	-	-	-

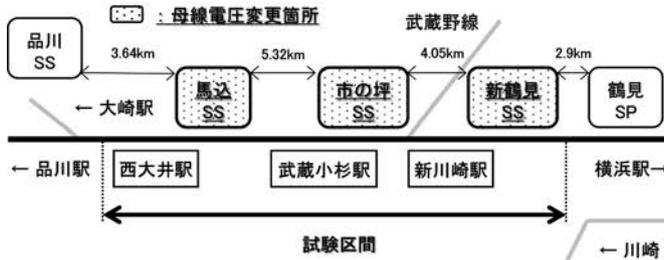


図7 横須賀線における変電所の位置

当該区間は、武蔵野線や貨物線など複数の回線を有する区間であるため、横須賀線におけるき電回線の正負方向の電力量の合計で評価した。これにより、変電所区間毎に力行電力量、回生電力量、損失を含めた電力量について評価することができる。き電電圧変更前後の平日における変電所の消費電力量を図8に示す。乗車率および気温・補機電力の影響を少なくするため、き電電圧を変更する直前1週間のデータと比較した。結果より、き電電圧の低下により消費電力量は2 MWh/日程度の低減、省エネ効果として約3%を確認した。

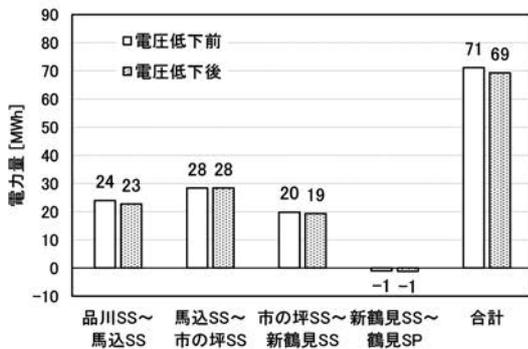


図8 変電所の消費電力



図9 E235系の加速時間

き電電圧低下による車両の加速性能への影響確認のため、加速開始(0 km/h)からノッチオフ速度までの加速時間の比較を行った。横須賀線を走行するE235系の加速時間を図9に示す。結果より、加速時間は0~3秒程度増加したが、駅間毎の平均では約1秒の増加と僅かであることを確認した。試験期間中においても列車運行は正常であり、40 V程度のき電電圧低下では加速への影響に問題ないことを確認した。

4. まとめと今後について

本研究では横浜線および横須賀線について、き電電圧を通常より40 V程度低下させたフィールド試験を実施し、いずれも列車の加速時間が微増した一方で、消費電力量は2~3 MWh/日程度低減した。重負荷線区では、低負荷線区よりもき電電圧低下による列車影響や省エネ効果が得られるか懸念があったが、問題ないことを確認した。

今後、横浜線については更に40 V程度下げた試験により、変電所設備の制約からき電線電圧を80 V刻みでの変更となる箇所への適用に向けた検討を行う。横須賀線については2024年5月下旬より改めて40 V程度下げた長期試験に着手、補機電力の多い時期でも同様な効果が得られるか検証を行っている。

参考文献

- 吉永孝, 西健太郎, 青木稔, 井上佳祐, 井口敬介:「鉄道車両の補機電力と直流変電所の電圧調整による回生電力の活用に関する検証」, 第30回鉄道技術運動シンポジウム(J-RAIL2023) (2023)
- 中西健太, 吉永孝, 西健太郎:「中高速域線区における回生絞り込み量の一検討」, 令和6年電気学会全国大会, No.4-174, pp.288-289 (2024)