

S1-2-5

架線電圧が回生失効に及ぼす影響

—第1報 調査手法と得た結果の概要—

○兵頭 信彦(金沢工業大学)

塩澤 尚大(金沢工業大学)

吉田 伸司(JR 西日本)

[機・電] 平間 淳司(金沢工業大学)

西浦 崇郎(金沢工業大学 院)

堀 俊行(金沢工業大学)

平元 忠雄(JR 西日本)

[機・電] 永瀬 和彦(金沢工業大学)

The Influences of The Catenary Voltage Upon The Regeneration Canceled.

—The First Report Investigation, Technique And A Summary of The Result That I got—

Nobuhiko Hyodo (Kanazawa Institute of Technology)

Naohiro Siozawa (Kanazawa Institute of echnology)

Shinji Yoshida (West Japan Railway Co.)

Jyunji Hiramama (Kanazawa Institute of Technology)

Takao Nishiura (Kanazawa Institute of Technology)

Toshiyuki Hori (Kanazawa Institute of Technology)

Tadao Hiramoto (West Japan Railway Co.)

Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

Behavior of catenary voltage is said to seriously influence upon a regeneration braking system of EMUs, and the fluctuation of the voltage is affected by various factors, which are presumably existed on vehicle sides and way-sides. However, the quantitative evaluation on these factors has not be done yet. To investigate and quantitatively evaluate these factors, the authors installed an event recorder on a JR Ltd. EMU on a narrow gauge line, and investigated the relation ship between the catenary fluctuation voltage and these factors. Several result of the study described in the paper.

キーワード:鉄道、鉄道車両、回生、架線

Keyword: Railway, Rolling stock, regenerative, catenary

1. はじめに

直流区間内において、回生失効は車両側で測定した架線電圧(以下、これを架線電圧という)が 1800[V]を超えると発生するとされている。しかし、この現象が起こるメカニズムはほとんど解明されていない。筆者らは当研究で電圧の変動のメカニズムを明らかにすることによって回生失効の原因を解明することを目的にしている。

架線電圧を変動させる因子は、車両側因子、地上側因子の2つが挙げられる。まず、車両側因子には消費電力量、回生電力量がある。一方、地上側因子には変電所の容量、き電系などの抵抗、変電所間の列車在線数が挙げられる。

筆者らは、前述の因子が架線電圧の変動に関与する度合いを調査するために、新型特急電車に長期にわたり計測装置を搭載している。筆者らはこの装置から取得した情報を用いることで、車両側の因子である主回路の電流および回生電流の変動を調査することが可能となった。一方、地上側因子は変電所の容量、ダイヤ上から変電所間の在線数などを調査し架線電圧変動との関係を明らかにする。そして、筆者らは計測装置搭載列車が電力を消費した時点の電力供

給状態などを調査することを通じて、車両側因子が架線電圧に及ぼす影響をある程度明らかにした。本報ではこれらの研究の意図および今までに判明した架線電圧のメカニズムなどの概要を述べる。

2. 計測装置および取得情報

2.1 計測装置の搭載位置および取得情報

計測装置は図1の9号車(T車)床下の機器箱内に搭載し、8号車(M車)のMM電流などの情報を取得している。なお取得情報の詳細については当研究室の「車輪滑走の詳細な

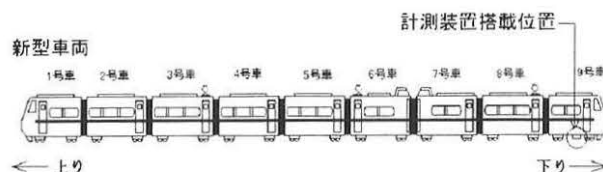


図1 計測装置搭載位置

挙動を記録するシステムの開発とその使用結果」¹⁾を参考にしたい。

2.2 架線電圧の変動を調査するために用いた情報

今回、架線電圧の変動を見ていく上で主に使用している情報は速度、距離、MM 電流、架線電圧、力行操作、ブレーキ操作、電制ブレーキ指令である。なお、電制ブレーキ指令情報を取得したのは回生失効、回生開放を区別するためである。

3. 回生失効に関与する因子

この章では架線電圧の変動に関わると推定される因子について述べる。

3.1 車両側因子

車両側因子は該当列車が架線電圧の変動に及ぼす因子である。この因子に該当するものとしては、主回路による消費電力量と架線に電圧を戻す回生電力量が考えられる。

3.1.1 消費電力量

消費電力量は主回路と補助回路の消費量に分かれる。主回路電流は力行の状況に応じ電流値が激変するため、電圧変動の大きな因子となっている。計測装置は MM 電流の情報を取得しているため、主回路電流に流れる電流量が調査できる。一方、補助回路は空調システム、制御回路、照明などの回路に流れる電流である。補助回路に流れる電流値の情報は取得を行っていないこと、この電力量を主回路と比べると架線電圧に与える影響は小さいと考えられるため、調査対象から省くことにした。

3.1.2 回生電力量

回生電力量は回生ブレーキ中、発生した電力を架線に戻す量である。当研究では MM 電流の情報を取得しているため、回生電流量も見る事が可能である。ただし、あくまでこの値は MM 電流の発生量で、架線に戻される電流値ではない。車両自身が回生電力を消費した場合、架線側から見た車両の消費電力は減少する。従って、車内自体で消費される電力も含め回生電力は車両側の因子といえる。

3.2 地上側因子

地上側因子に該当するものとしては、き電系などによる電圧降下、架線に送電する変電所の容量、および付近に在線する他列車などである。

3.2.1 変電所および列車等の因子と架線電圧の関係

変電所の位置および容量は架線電圧に大きな変動を及ぼすと推定される。それは変電所の出力の違いから、電流量、電圧降下量が変化すると判断できるからである。そこで、変電所と列車との位置関係などを走行データから調査していく。

3.2.2 き電系統

列車が変電所間に存在するとき、き電線の系統やその距離に応じ送電線の抵抗も変化する。これらは架線電圧を変動させる因子となる。しかし、この因子の実態が明らかでな

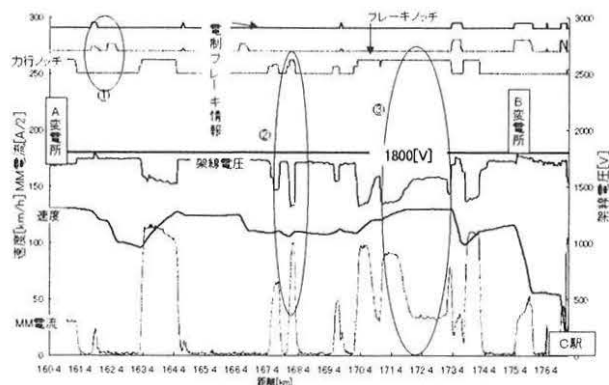


図2 A～B変電所間の走行データ

いため、今回の調査から省略した。

3.2.3 他電車の在線位置および電力消費量

調査列車に近接して他列車が存在する場合、その列車の消費電力量および回生電力量は架線電圧に大きな影響を与える。しかし、それらを詳細に把握することは困難である。そのため、筆者らはダイヤ上から在線状況などを調べるに留めた。

4. 本線上で各種の因子が架線電圧に及ぼす影響の実態

先に述べたように筆者らは本線を走行した列車について架線電圧変動などの実測データを有している。これらのデータの内、諸因子が架線電圧変動に与える影響を特定しやすいと推定される区間のいくつかのデータを選び、諸因子と架線電圧との関係を調べた。

注目した具体的な因子および走行データの選定条件は以下の通りである。

- (1) 回生失効が起きやすいとされる直流区間
- (2) 列車が豊富な電力を受電しやすい、列車在線位置から見て双方に出力の大きい変電所がある区間
- (3) 上記と異なって片送電で出力の小さい変電所がある区間
- (4) 列車が在線する位置付近における他列車の在線状況

4.1 両送電区間を高速走行し、回生ブレーキにより減速した事例

4.1.1 高出力の変電所からの送電区間

上記の条件から選定した走行データを図2に示す。この図の横軸は列車の始発点からの距離[km]を示している。縦第1軸は列車速度[km/h]および8号車(M車)のMM電流[A]の半値を示している。半値にしたのは他のデータとの関係をわかりやすくするためである。また、縦第1軸には主幹制御器などの主要機器の操作状況を示し、縦第2軸は架線電圧[V]の値を示す。図2の160.4[km]、175.4[km]の地点にAとB変電所がある。これらの変電所の出力はともに6000[kW]である。この区間はほぼ平地であるが所々に100[km/h]程の速度制限がある場所のデータを示す。

図2の①の地点で速度制限を受けて列車を100[km/h]程度に減速した。しかし、①の地点を詳細に見ると、異なる二つのブレーキを操作している。161.8[km]地点で回生ブレーキを使用し、回生失効を起こしている。その原因は高い架線電圧にあり、これを受けて運転士は電制ブレーキ指令をオフにし、再びブレーキをかけた。この時点のダイヤを見ると、AからB変電所の間には、上下線とも他の列車は存在していなかった。また、この付近において力行などの操作を行っていない他の地点の架線電圧が1750[V]であることと、列車は変電所付近を走行していたことより、ここで得た架線電圧は送電電圧に近い値とされる。

4.1.2 力行操作により架線電圧に及ぼす影響

163.4[km]付近にある前記の制限速度100[km/h]の地点通過後、力行ノッチが投入され最大速度の130[km/h]に到達するまでの間、MM電流は速度に応じ次第に減少している。しかし、これによって架線電圧が大きく変動することはなかった。本列車はこのとき6ノッチを使用していることから、多少の電力の変化は電圧に影響を与えないと判断できる。

次に、②に示す地点(171.0[km])では力行ノッチを入れた後の一旦僅かにノッチ戻しをし、再び6ノッチに投入している。この地点での架線電圧の動きを見ると、その値は約450[V]程度と大幅に低下している。これはMM電流が200[A]も流れたためであろう。しかし、列車が171.6[km]に達した時点で、MM電流は120[A]も低減している。この区間の最高速度の130[km/h]に達し、MMの特性により電流値が低減したためであろうと考えられる。173.8[km]、163.4[km]地点の電圧降下を比較するとその度合いが違う。そこで、電流値を比べるとほぼ同じ値であることから、この原因はA変電所とB変電所付近のき電系の抵抗が異なるためだと考えられる。

図2の③に示す地点(168.6[km])では、電車はダ行している。この地点付近は図示のA及びB変電所から最も隔たった所であり、大きな電圧降下が起き易い地点でもある。③の地点でダ行時に得た架線電圧をA、B両変電所付近で同じ状態で得た架線電圧と比べてみた。すると、この地点で得た電圧は変電所付近のダ行状態で得た電圧より約50[V]低い。このデータは11月に得たものであり、この季節における補助回路の消費電力は多くはないと推定される。なぜなら、空調の消費電力は少ないと考えられるからである。従って、付近に他の列車が在線せず、両変電所からの距離が約9[km]程度あり、それらの変電所の出力が6000[kW]程度の場合、車両の消費電力が少ない状態の下で、変電所から列車在線位置までのき電系による架線電圧降下の値は50[V]程度と推定される。

一方、図2の③に示す地点(168.6[km])で、列車が6ノッチを使用したとき、MM電流はA、B変電所付近で消費した同等くらいのMM電流を使用している。しかし、架線電圧はA、B変電所付近の電圧降下より約100[V]の際で低減している。従って、列車と変電所間からの距離に応じて電圧降下

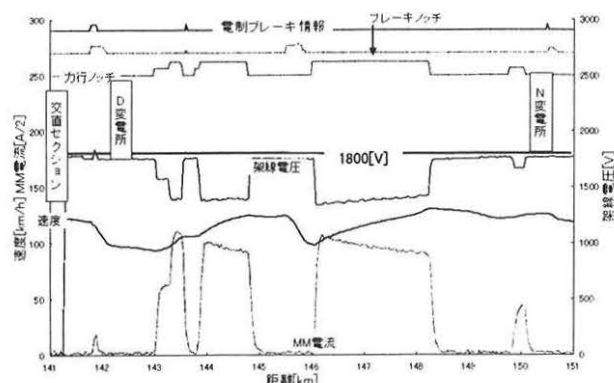


図3 低出力変電所付近の走行データ

の値は消費電力に応じて変化することがわかった。同じ地点で大電流が流れた場合の電圧降下量について調べてみた。168.2[km]地点付近で、列車は6ノッチに投入し、MM電流は200[A]流れた。すると、電圧は1700[V]から1300[V]と約400[V]低下した。一方、図示のB変電所付近において同じ運転操作が行われ、ほぼ同じMM電流が流れた場合の架線電圧は1750[V]から1400[V]と350[V]低下した。なお、付近には他の列車は存在しないことをダイヤから確認している。従って、中間地点での電圧降下量は消費電力が補助回路のみの場合は50[V]、これに主回路電流が上乘せされた場合の降下量はさらに50[V]増加した。従って、電圧降下の値は変電所からの距離と消費電力に応じ増大することがわかった。

4.2 低出力変電所から片送電されている区間

4章の冒頭で述べた変電所を主体とした条件から、変電所の出力が小さく、しかも、その区間が一方の変電所からだけ送電される、いわゆる「片送電区間」で得た走行データを図3に示す。図3の142.2[km]の地点にD変電所があり、この変電所の出力は3000[kW]である。この区間も図2と同様ほぼ平地であり、付近には100[km/h]の速度制限が存在する。

4.2.1 回生ブレーキの失効

141.7[km]付近で速度制限のため100[km/h]まで減速するため、回生ブレーキを4ノッチに投入している。しかし、この操作をする前から架線電圧が1750[V]を超えていたこともあって回生ブレーキを使用した直後に回生失効を起こしている。これはD変電所からの距離は僅か0.4[km]と近かったため、き電系で消費される電力も期待できず、さらに、付近には他の列車も在線せず、架線電圧も1760[V]と高いために起きたのであろう。

4.2.2 低出力変電所付近で、き電系が架線電圧の変動に及ぼす影響

図3に示す142.9[km]の地点にある速度制限箇所を列車が通過した後、力行を4ノッチに投入し、すぐに6ノッチへ移行した。このときのMM電流の最大値は220[A]であった。ノッチ投入により架線電圧は1750[V]から1400[V]と大きく減少している。しかし、この地点はD変電所の内方にあり、既に片送電の状態を脱しているにも関わらず、この

ように大きな電圧降下が起きた理由を考えてみた。

D 変電所と隣接する出力 6000[kW]の N 変電所との間の距離は 9.8[km]である。これと、前節で述べた 168.6[km]地点付近の電力事情とを比べると、近接する変電所までの距離でみる限りは当該地点の電力事情は前節の事例に劣ると思われない。しかも、付近に他の列車は在線していない。よって、列車が両送電区間に在線する場合、どちらの変電所の電力を消費するかは、列車と両変電所までの距離の比に応じて定まる可能性が高い。本事例については、列車から直近の D 変電所までの距離は、出力の大きい N 変電所までの距離に比べ遥かに近いものの、D 変電所の出力は低い。そのように出力の低い変電所から供給される電力に、当該列車が消費する電力の多くを依存した結果、電圧降下量が大きくなったと推定される。

5. 結論

回生失効が架線電圧の変動に深く関与するメカニズムを解明するに際して、その変動に車両側因子と地上側の因子が大きくかかわっていることに鑑み、新型特急電車に計測装置を長期にわたって搭載して車上側の因子と地上側の因子が電圧の変動に及ぼす影響を調査した結果以下のようなことがわかった。

- 1) 架線電圧の降下は変電所からの距離と車両の消費電力量に応じて変化することがわかった。
- 2) 二つの変電所の間に在線する列車の消費電力量の電力負担割合は、列車在線位置から両変電所までの距離の比に応じたものとなっている可能性が高い。

6. 今後の課題

回生ブレーキを使用したとき、電流が異なった変動をしているので、電流の変化について詳しく調査する必要がある。また、同じ変電所間に存在する列車本数によって電圧降下などに影響を与えられられる。そこで、筆者らは運用表を見ることにより計測対象列車とその他の列車の運行状況を調べ、列車に与える影響を調査する。

今回の走行データから、回生失効は地上側因子が深く関わっていると考えられるので、この因子についてさらに詳しく調査する必要がある。これらは今後の研究課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、西日本旅客鉄道株式会社本社、西日本旅客鉄道株式会社金沢支社、金沢総合車両所関係各位及び本学修士 1 年佐藤祐氏、学部 4 年谷本一穂氏の協力を得た。ここに関係者各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 吉田 伸司 西浦 崇郎 兵頭 信彦 塩澤 尚大 堀 俊行 平間 淳司 永瀬 和彦
「車輪滑走の詳細な挙動を記録するシステムの開発とその使用結果」 J-Rail2005 2006 年 1 月発表予定