

1313 営業電車における回生絞込みの実態把握

Monitored data analysis of regenerative brake light-load control for electric railcars on commercial use

○玉置 誠一 飯島 宏康 真野 辰哉 (西日本旅客鉄道(株))

正 [電] 小笠 正道 正 [電] 秦 広 ((財)鉄道総合技術研究所)

Seiichi TAMAKI, Hiroyasu IIJIMA, Tatsuya MANO, (West Japan Railway Company)
Masamichi OGASA, Hiroshi HATA, (Railway Technical Research Institute)

Regenerative braking for electric railcars is not fully available in case of light-load control, and regenerative braking power is limited under the condition of feeding system or lack of load. For energy saving, it is required to improve regenerative braking rate.

In order to investigate regenerative brake on commercial use, we have obtained various kinds of information about regenerative brake from an on-board monitor device in the long term.

In this paper, we show the limit of regenerative braking power on commercial use based on these data. Additionally, we try to estimate the cause of limit and find the object for energy saving.

Keyword: regenerative brake, light-load control, monitored data, commercial use

1. はじめに

近年の新製車両には全て電力回生ブレーキが装備され、列車運行エネルギーの削減に貢献しているが、直流電気鉄道における電力回生の場合には、回生電力による架線電圧上昇により回生失効あるいは回生絞込みが発生し、車両の持つ回生能力よりも実際の回生電力が少ないことが多い。しかしこの回生失効あるいは回生絞込みが実運用状態でどの程度発生しているか等の実態を把握した例は少ない。

そこで、営業車両の走行状態を長期的に把握するシステムを用いて長期間に亘り回生ブレーキ時のデータ取得を行った。これにより、機器故障等による回生失効はほぼ皆無であること、完全に空気ブレーキに切り替わることはほとんどなく、回生負荷が少ない場合でも回生ブレーキを絞り込みながら回生ブレーキを継続している(これを“軽負荷回生”と称している)ことが分かった。従って、電車のブレーキエネルギーをより多く回生するためには回生絞込みをいかに少なくするかが課題であることが判明した。

回生絞込みが起こる要因として大きく2種類の要因が存在する。1つ目は負荷となる列車が十分存在しない場合。2つ目は地上設備の制限により一定以上の回生電力を電側に戻すことが出来ない場合である。いずれにしても回生ブレーキ時の地点および周辺列車運行状態により定まる一定値以上の電力を回生することができない。

現在、取得したデータから回生電力の状態を分析し、上記の要因の影響度合いを把握することを試みている。分析手法の一つに回生ブレーキの安定性を評価する指標として「可動率(Availability)」を定義し分析を行った例³⁾⁴⁾があるが、今回は電制ブレーキパワーおよび絞込みエネルギー量に着目し、回生ブレーキ絞込みの実態を把握した内容について報告する。

2. 測定車両・測定データ

2.1 測定車両および運用

測定に使用した車両は223系電車2000番台の8両編成(3M5T)で、1C1M、ベクトル制御のVVVF車両である。主に

新快速列車に運用されており、新快速列車の米原-姫路間で平均停車駅間距離9.4[km]、表定速度88[km/h]であり、停車駅間隔が長く比較的高速で運転される運用である。また、運用区間は長浜・近江今津~上郡・播州赤穂であり列車密度の高い都市部および列車密度の低い都市近郊部双方を含んでいる。

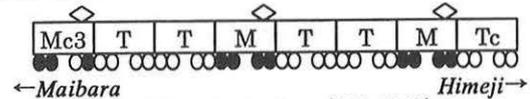


Fig.1 Train Set (223-2000)

2.2 測定データ

各M車について、架線電圧 E_v [V]、VVVF架線電流 I_v [A]、速度 V [km/h]、ブレーキノッチ N_B を取得し、各インバータからインバータ電制力パターン F_{inv} [kgf]、MM電制力 F_{MM} [kgf]等のデータを1秒毎にサンプリングして記録している。 F_{inv} は電制指令値であり、滑走や軽負荷絞込みの結果実際に発揮しているブレーキ力が F_{MM} である。

3. 回生絞込みの実態

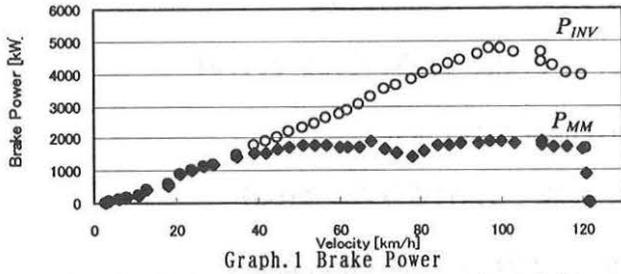
3.1 電制パワー

各停車駅における停車ブレーキ時の電制パワー P_{MM} [kW]および電制パターンパワー P_{INV} [kW]を計算により求めた。

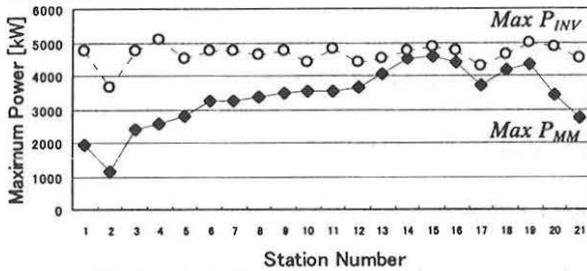
$$P_{MM} = F_{MM} \cdot V \cdot \frac{g}{3600} \quad (1)$$

$$P_{INV} = F_{INV} \cdot V \cdot \frac{g}{3600} \quad (2)$$

この値は車輪踏面でのパワーであり、実際の回生パワーはこの数値の約80%となる。Graph.1に都市近郊部の駅における電制パワーを編成全体で合計した値を示す。この時のブレーキ初速は約120[km/h]であり、車両の能力上は約5000[kW]程度の電制パワーを発揮できるにもかかわらず、実際の電制パワーの上限が、約2000[kW]に制限されていることが確認できる。この車両では架線電圧1700[V]からトルク電流を絞り、1830[V]でトルク電流を0にする軽負荷回生制御を行っており、この時の架線電圧は最高1800[V]であった。



このような絞込みは各駅で発生しているが、都市部では電制パワーの上限が高い値となり、逆に都市近郊部では低い値となる。各駅についてその上限値を複数の列車で平均した値を Graph. 2 に示す。駅番号 7~20 が都市部の複雑な線区間である。都市部から離れるほど大きく絞り込まれていることと、都市部においても若干の絞込みが発生していると推察される。



Graph.2 Maximum Electric Brake Power

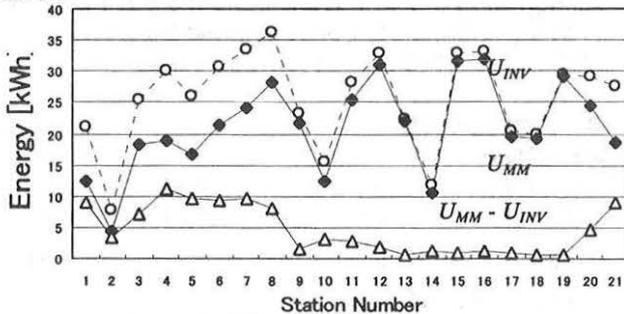
3.2 電制エネルギー量

上記の電制パワーを時間積分しエネルギー量とした。

$$U_{MM} = \int_{B開始}^{B終了} P_{MM} dt \quad (3)$$

$$U_{INV} = \int_{B開始}^{B終了} P_{INV} dt \quad (4)$$

U_{INV} は絞り込むことなく全て回生した時の最大電制エネルギー量であり、それに対して U_{MM} は実際に電制として作用した電制エネルギー量である。 $U_{INV} - U_{MM}$ が絞込みにより空気ブレーキが代わりに吸収したエネルギー量となる。Graph. 3 にある列車における各駅での U_{INV} 、 U_{MM} 、 $U_{INV} - U_{MM}$ を示す。



Graph.3 Electric Brake Energy

ブレーキ初速の違いによる最大電制エネルギー量の違いはあるが、都市部を外れると絞込みエネルギー量 ($U_{MM} - U_{INV}$) が増大している様子が分かる。

4. 考察

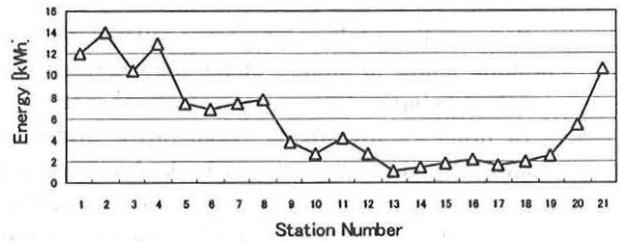
4.1 回生パワー上限

回生絞込みが発生する要因として2つの要因がある²⁾。1つ目は負荷となる列車が十分存在しない場合。2つ目は地上設備の制限により一定以上の回生電力をき電制に返すこ

とが出来ない場合である。絞込みがどちらの要因によるものか検証するために、ブレーキ地点における回生パワー上限値を、変電所き電電圧・変電所からの距離・き電抵抗値から概算した。その最低値は2000[kW]程度となり、き電設備上の制限により回生パワーを吸収できない地点が存在することが分かった。しかし、現実のデータと照合するとこの地点と、絞込まれている地点が一致している箇所は少ない。従って、絞込みの主たる要因は回生負荷が回生車の近傍に存在しないことであることが確認できた。

4.2 絞込みエネルギー量

回生絞込みにより本来回生できるはずのブレーキエネルギーがどの程度空気ブレーキにより熱として放出されているのか集計を行った。Graph. 4 に各駅での絞込エネルギー量の平均値を示す。



Graph.4 Average of $U_{MM} - U_{INV}$

駅番号 7~20 が複雑な線区間である。また、駅番号 1~4 ではデータタイムの列車密度(普通・快速・新快速)が、4[本/h]、5~10 では7[本/h]、11~20 では16[本/h]、21 では8[本/h]であり、絞込み量と列車密度の相関が営業線においても確認できた。また、絞込みの多く発生している駅では、平均的に1列車あたり10[kWh]程度のエネルギーが絞込みにより熱エネルギーとして失われていることが確認された。

5. おわりに

本報告では、営業車両で取得した回生ブレーキ時の各種データを基に、電制パワーおよび電制エネルギー量に着目して電力回生ブレーキの実態把握を行った。また、回生絞込みの要因について考察を行い、今回測定対象とした線区・列車では回生負荷の大きさが絞込みの主要因となることが確認できた。さらに回生絞込みにより熱エネルギーとして放散される量をブレーキ地点毎に集計し、地点毎にどの程度のエネルギー量が絞り込まれているのか明らかにした。

今後は、これらのデータを基に負荷と回生エネルギー量あるいは可動率の関係を分析し、更なる省エネルギー施策の方向性を見出していきたい。また、列車密度の高い区間において必ずしも完全に回生できていないというデータが得られている。今後回生車両が増加し、全ての車両が回生を行うようになった場合の対応についても追求する予定である。

【参考文献】

- 1) 道川、真野 他：営業電車の状態監視システムの開発、J-Rail2002, pp.187-190, 2002.11
- 2) 小笠、山本 他：電気車のエネルギーリサイクルの各種方策、J-Rail' 01, pp.219-222, 2001.12
- 3) 小笠、道川 他：電気ブレーキ信頼度測定、平成14年電気学会全国大会 5-219, pp.308-309, 2002.5
- 4) 小笠、：営業電車の回生ブレーキ動作状況調査、第160回鉄道総研月例発表会要旨 160-7, http://www.rtri.or.jp/infoce/getsurei/2003/Getso06/g160_7.html, 2003.6