

S3-1-4. 営業列車における電力回生の実態調査

○ 飯島 宏康 玉置 誠一 真野 辰哉 (西日本旅客鉄道(株))

The investigations of regenerative brake for electric railcars on commercial use  
Hiroyasu IJIMA, Seiichi TAMAKI, Tatsuya MANO (West Japan Railway Company)

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

The system which measures regenerative power was installed on 207 EMUS which are the commuter train. Over approximately 1 year, authors acquired the data on commercial use, and analyzed those data.

In this paper, the investigative result is introduced for every operating section, also including the data of the 223 EMUS which is advancing analysis.

キーワード：回生ブレーキ、軽負荷制御、アベイラビリティ、回生絞込

Keywords: regenerative brake, regenerative light-load control, availability, regenerative partial-cancellation

1. はじめに

電力回生ブレーキは電車の消費電力エネルギーの削減に貢献すると言われているが、直流電気鉄道においては、回生電力による架線電圧の上昇により、回生失効または回生絞込が発生し、車両の持つ回生能力よりも実際の回生電力が少ない場合がある。

近年、当社の京阪神都市圏(アーバンネットワーク)では、従来の発電ブレーキ方式の抵抗制御電車から最新の回生ブレーキ方式のインバータ電車への置換えが進み、全車両に占める回生車両の割合が増加してきた。それに伴って、鉄道システム全体の省エネ効果が期待されている。ところが、実際に回生車両の導入が鉄道システム全体の省エネに効果を発揮しているのか、回生車両比率の増加とともに増大する回生電力を、近傍力行列車で負荷し、適切に消費されているのか、という点について実態を調査した例は少ない。

そのような中、平成 12 年頃より、営業車両(223 系：最新の近郊形電車)に走行中の各種データを収集することができるシステムを搭載して、長期間にわたって実運用でのデータを取得し、さらには、それらのデータを分析して回生ブレーキの実態把握に努めてきた<sup>1)</sup>。その結果、223 系では運用線区の都市部から離れるほど軽負荷による回生絞込が多く発生していること、また、都市部においても若干の軽負荷回生絞込が発生していることが明らかになった<sup>2)</sup>。

そこで、次段階として、当社アーバンネットワークを縦横無尽に走行する最新の通勤形電車である 207 系に同様な回生電力データ収集システムを搭載し、平成 15 年から約 1 年間にわたって実運用のデータを取得し、それらのデータ分析に取り組んできた。本論文では、207 系の回生絞込の実態について、回生ブレーキの「有効率(アベイラビリティ)(%)」及び「回生絞込エネルギー(kWh)」という評価指標を用い、223 系のデータも交えながら紹介する。

2. 測定および分析内容

2.1 測定車両

図 1 に測定車両の概要を示す。比較参考とするため 223 系についても記載した。

車種	223系2000代 近郊形電車(主に新快速)	207系2000代 通勤形電車(普通、快速)
		
投入時期	1998年～	2001年～
最高速度	130km/h	120km/h
主回路方式	VVVF(個別制御)	VVVF(個別制御)
ブレーキ方式	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ方式(遅れ込め制御あり)	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ方式(遅れ込め制御あり)
起動加速度	2.5km/h/s以上	2.5km/h/s以上
減速度(常用)	4.3km/h/s	3.5km/h/s

図1 測定車両の概要

2.2 測定車両の運用線区

図 2 に 207 系の運用区間と主な駅間平均速度を示す。207 系の運用線区は、JR 京都線(一部湖西線、琵琶湖線含む)、JR 神戸線、JR 宝塚線、JR 東西線、学研都市線の多岐におよんでいることがわかる。図中の平均速度とは駅間のランカーブから算出したもので、駅での停車時分を含まない。これは、207 系は各駅停車の普通電車として運用されることが多く、特急や快速などの通過待ちによる遅延停車時分を排除して、より実態に近い走行速度を得るためである。例えば、207 系普通電車の京都から西明石間の平均速度は約 65km/h である。参考に、223 系新快速電車はこの同一区間を平均速度約 95km/h で走行している。なお、本論文で紹介するデータは、図中左上に示すように、207 系の運用編成(学研都市線の一部除く)である 7 両中の 4 両 (2M2T) から取得したデータである。



グラフを示す。この図から、同一停車駅において、223系新快速電車よりも207系普通電車のアペイビリティの方が高くなっていることが明らかになった。これは、西明石から草津までは複々線区間であり、207系普通電車と223系新快速電車は一部区間を除き平行して走行しているため、その走行線ごとの列車密度や、編成両数およびブレーキ初速度などによる回生電力の大きさの違いが関係していると推察されるが、今後の実態調査と分析により原因を明らかにしていく必要がある。

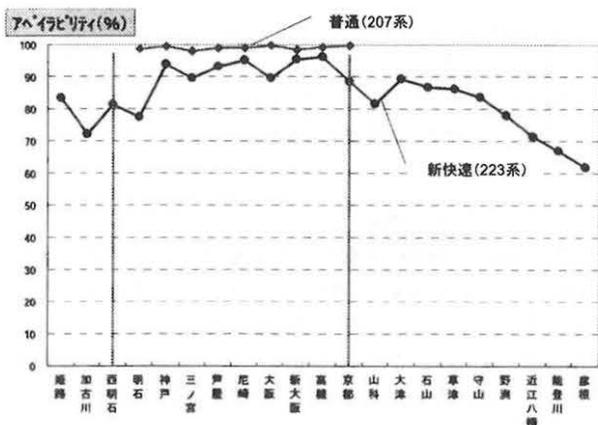


図5 普通電車(207系)と新快速電車(223系)のアペイビリティ比較

次に、JR 京都線・JR 神戸線における普通電車の回生絞込の実態について図6に示す。図中の停車列車本数(本/日)は普通電車のみの本数で、新快速及び快速運用のものは計上していない。駅ごとの1日あたりの絞込エネルギー(kWh)は1列車あたりの絞込エネルギー(kWh)に停車列車本数(本/日)を乗じて算出している。したがって、普通列車が全て207系であると仮定した概算量(4両編成)である。さらに、インバク架線電圧に関する項目の「力行中最低電圧」は、前駅出発から当駅停車までの力行中の最低電圧を示している。その他、変電所などの地上側設備についても設置位置が分かるようにプロットした。各駅のブレーキ初速度(km/h)についても、分析に必要なパラメータとして記載した。

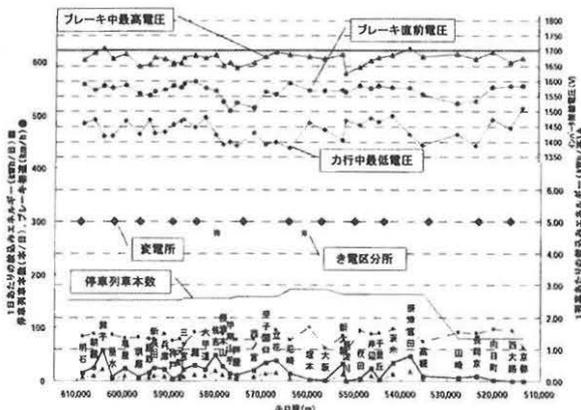


図6 JR京都線・JR神戸線における普通電車(207系)の回生絞込実態

図中のインバク架線電圧の「ブレーキ中最高電圧」に注目すると、軽負荷回生制御の開始電圧である1700(V)に対して、全ての駅でその近傍かそれ以下となっており、軽負荷によ

る回生絞込がほとんど発生していないことが明らかになった。

### 3.2 JR宝塚線

図7に、JR宝塚線における207系のアペイビリティを示す。なお、分析には207系の普通及び快速運用の全列車を供している。図より、都市部から離れるほどアペイビリティが低くなる傾向と都市部(尼崎駅～宝塚駅)においても100%近傍にはなく、90%を下回る駅も存在することが明らかになった。今後、都市部のこれらの駅について、その要因分析に努めていきたい。

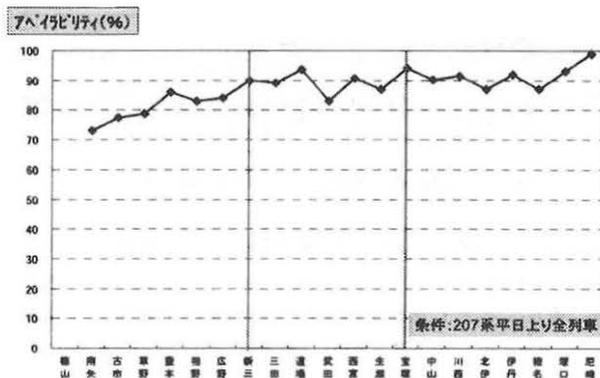


図7 JR宝塚線における207系のアペイビリティ

図8に、JR宝塚線における207系の回生絞込の実態について示す。この図から、1日あたりの絞込エネルギーは、1列車あたりの絞込エネルギーが大きい(アペイビリティの低い)郊外部(新三田駅～篠山口駅)よりも、1日の停車列車本数の多い都市部の方が大きくなっていることが明らかになった。

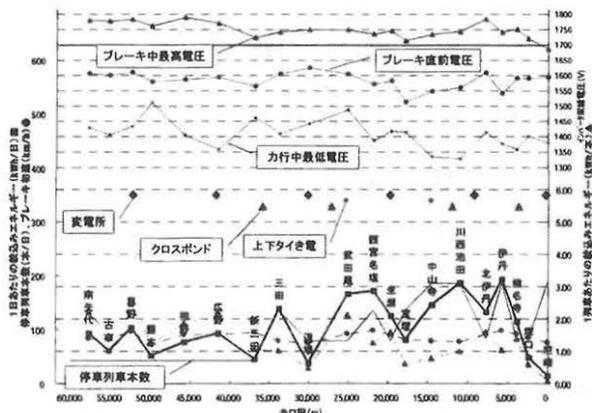


図8 JR宝塚線における207系の回生絞込実態

### 3.3 JR東西線・学研都市線

図9に、JR東西線・学研都市線の207系のアペイビリティを示す。なお、前述のようにこの線区は全て207系で運用されており、回生電力の実態を把握する上で、最も適した線区といえよう。この線区の特徴としては、松井山手駅～木津駅間は単線区間であること、さらに京田辺駅で4両編成と3両編成の分割併合が行われ、京田辺駅～木津駅間は4両編成の運用となっていることである。この図から、JR東西線のアペイビリティは先述のJR京都線・JR神戸線に匹敵す

るほど高く、回生絞込はほとんど発生していないことがわかった。また、学研都市線については、JR宝塚線と同様に郊外部ほど低くなる傾向が見られる。

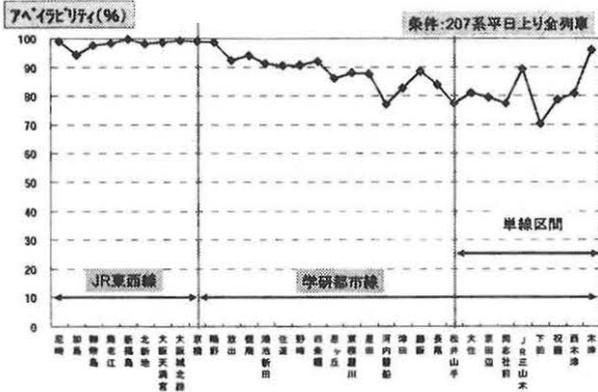


図9 JR東西線・学研都市線における207系のアペイリビリティ

図 10 に、JR 東西線・学研都市線における 207 系の回生絞込の実態を示す。この図で、1 日あたりの絞込エネルギーの挙動に着目すると、学研都市線の河内磐船駅と松井山手駅が突出して大きくなっていることが明らかになった。特に、河内磐船駅は 1 列車あたりの絞込エネルギーもこの線区内でも大きく、その要因を分析していく必要がある。

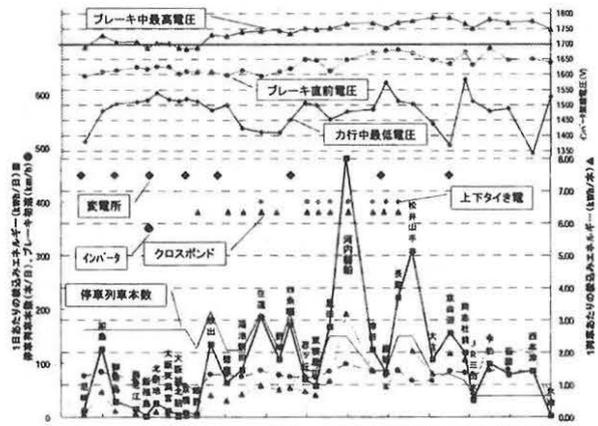


図10 JR東西線・学研都市線における207系の回生絞込実態

図 11 に、河内磐船駅で回生絞込が発生した時の例を示す。上図(①)のインバータ架線電圧に注目すると、ブレーキ前のインバータ架線電圧が、既に軽負荷回生制御の開始電圧である 1700(V)を超えているのがわかる。図 10 から、学研都市線のブレーキ直前電圧は他のどの線区よりも高くなっており、このことが大きな回生絞込を発生させている要因の一つとして考えられる。図 11 の下図(②)は、ブレーキ途中から回生絞込が発生した例である。ブレーキの前半は、インバータ架線電圧は 1700(V)よりも低く、回生絞込は発生していない。ところが、ブレーキ途中で突然インバータ架線電圧が上昇し、軽負荷による回生絞込が発生していることが分かる。当駅も含め、学研都市線には、き電ロスや回生絞込の削減を目的として、上下タイキやクロスボンドなどの設備が導入されており<sup>3)</sup>、変電所だけでなくこれらの地上設備も回生絞込に大いに関係している実態が明らかになった。

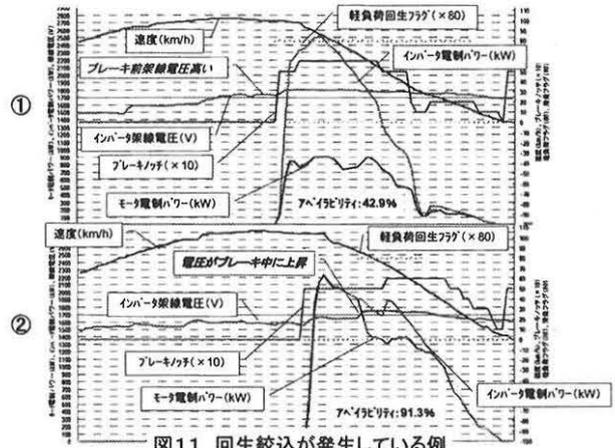


図 11 回生絞込が発生している例

#### 4. まとめと今後の課題

当社の最新の通勤形電車である 207 系に、回生電力データ収集システムを搭載し、約 1 年にわたって実運用のデータを取得し、それらのデータの分析に努めてきた。その分析結果を、運用線区ごとに、以前から分析を進めている 223 系データも含め評価したところ、下記に示す点が明らかになった。

- (1) JR 京都線・JR 神戸線における 207 系普通電車については、軽負荷による回生絞込はほとんど発生しておらず、大阪駅近傍も含め同一区間で軽負荷回生絞込が多く発生している 223 系新快速電車とは回生ブレーキの挙動が異なることがわかった。
- (2) 207 系における回生ブレーキのアペイリビリティ(有効率)を線区で比較(駅平均)すると、JR 京都線・JR 神戸線≒JR 東西線>JR 宝塚線>学研都市線となった。
- (3) 回生ブレーキのアペイリビリティ(有効率)が低い駅については、近傍列車の加減速状況や地上設備など、さまざまな要因が回生絞込に影響を及ぼしていると考えられる。

以上のデータ分析から、軽負荷による回生絞込が線区もしくは駅によっては多く発生しており、車両が持つ回生能力を十分に活用できていない実態が明らかになり、電力回生による省エネ施策にはまだ改善の余地があることがわかってきた。今後は、要因分析に重点を置くとともに、地上(電力)側とも連携して、車両側と地上側のトータルとしてバランスの良い「回生電力の有効活用」を検討していきたい。

#### 【参考文献】

- 1) 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
- 2) 玉置、小笠 他：営業列車における回生絞込の実態把握、J-Rail' 2003, pp.299-300, 2003.12
- 3) 松井、石井 他：上下タイキ電による省エネルギー、J-Rail' 2001, pp.395-398, 2001.12