

相模線における運転エネルギーの定量化

[電] 飯野 友記 ○ [電] 廣瀬 寛

Quantification of operational energy in Sagami Line

Yuuki Iino, ○Hiroshi Hirose, (East Japan Railway Company)

JR East work to prevent the waste of precious energy resources and to reduce CO2 emissions – a known source of global warming – by enhancing our energy efficiency and introducing cleaner forms of energy. In order to quantify the energy for driving the train, the watt-hour meter installed in the substation and the vehicle was measured at the same time the amount of power consumed by the energy supply in substations and vehicles.

This paper reports on issues and improvement plan aimed at reducing energy consumption for train operations from the measurements.

キーワード：回生，積算電力，走行消費電力，補機消費電力，相模線，205 系

Key Words：Regeneration, integrated power, driving power, auxiliary power, Sagami Line, 205 series

1. はじめに

JR 東日本環境技術研究所では、環境負荷削減に向けた取り組みとして、運転エネルギーの更なる消費低減に向けた課題を見極めるため、JR 東日本相模線をモデル線区として地上と車上に積算電力計を設置し、電力量データを収集した。

相模線は平成 3 年 3 月 16 日に茅ヶ崎～橋本間が電化され今年で 20 周年を迎えた。JR 線では、茅ヶ崎で東海道線と、橋本駅で横浜線にそれぞれ接続している。

ここでは、測定されたデータから地上～車間上の運転エネルギーの見える化、および消費電力、損失について分析した結果を述べる。

2. 測定内容

2.1 相模線の概要

(1) 線区概要

相模線は、茅ヶ崎・橋本間 33.3km の単線であり、駅数は 18 駅ある。また、茅ヶ崎・海老名間は比較的平坦であるが、海老名・橋本間は最大 12‰の勾配がある。

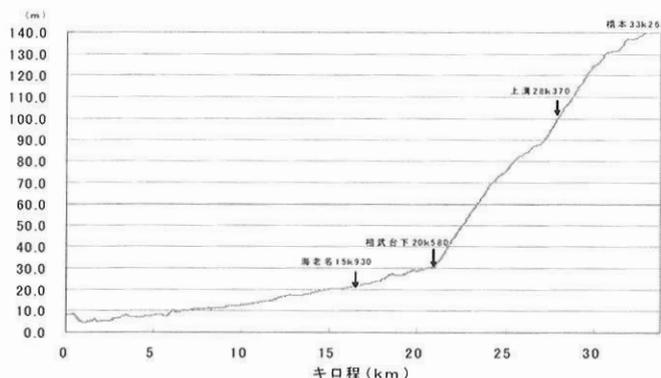


図 1 相模線の勾配

(2) 変電所及び電車線路

相模線における電気方式は直流 1500V き電方式とし、変電所については茅ヶ崎変電所 (−2.9km)・海老名変電所 (16.2km)・橋本変電所 (32.6km) の 3 箇所となる。(括弧内のキロ程は茅ヶ崎駅起点における位置) また、茅ヶ崎変電所では東海道線方面、橋本変電所では横浜線方面へと母線を介してそれぞれ繋がっている。き電線は茅ヶ崎・寒川間が塩害を考慮し硬銅より線 325mm² の二条一括、寒川・橋本間は硬アルミより線 510mm² の二条一括であり、架線方式はシンプルカテナリ方式を採用している。

(3) 積算電力計

相模線において運用されている車両は全て 205 系 500 番代であり、界磁添加励磁制御、回生ブレーキ併用電気指令式ブレーキを採用している。車両は 4 両編成 13 本 (52 両)、MT 比は 2M2T、M' 車に 190kVA 電動発電機を搭載している。今回の測定では、既存の断路器箱を取外し、積算電力計付の断路器箱を取付けるとともにおよび地上と車上の測定データの時刻をあわせるため、時刻補正を可能にする GPS アンテナを変電所および M 車妻部にそれぞれ設置した。図 2 に今回の測定概要を示す。

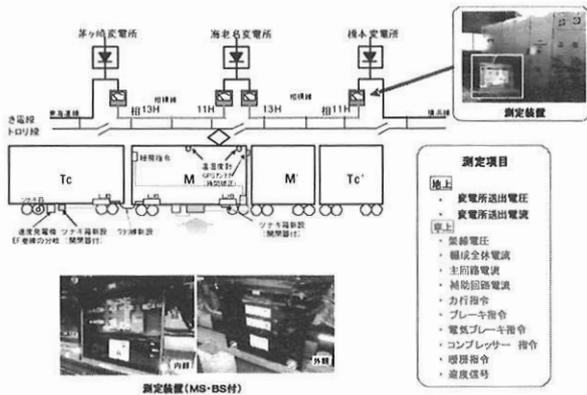


図 2 消費電力測定概要

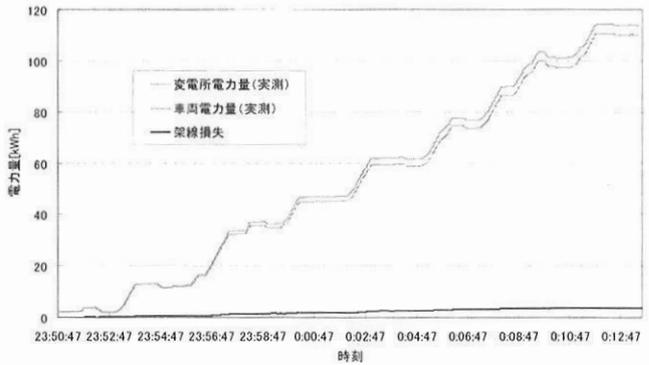


図 4 変電所及び車両の電力量の推移

3. 運転用エネルギーの定量化

3.1 変電所のデータ

(1) 変電所母線電圧の割合

各変電所 1 日における母線電圧の時間割合の一例を図 3 に示す。変電所における無負荷送電電圧は基本的に 1620V となっているが、茅ヶ崎変電所、海老名変電所における母線電圧については 1620V を超える割合が多くなっている。この値を超えている時間帯は車両側からの回生エネルギーによりパンタ点電圧が上昇し、結果的に変電所の母線電圧に影響を与えていると考えられる。このため、茅ヶ崎・海老名変電所間を走行する車両から発生する回生エネルギーについては海老名・橋本変電所間よりも、絞り込みの発生回数が高い可能性があるということが推測できる。

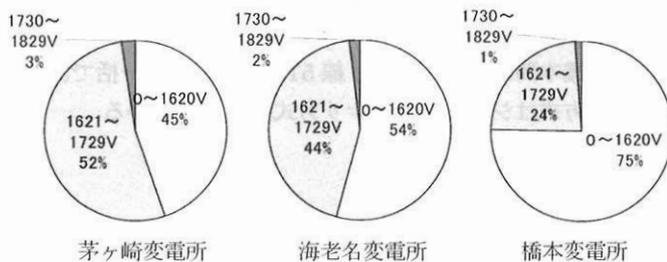


図 3 相模線各変電所における母線電圧の割合

(2) 架線による損失

変電所から送り出した電力量と車両単体で消費する電力量には差異があり、これは電流と架線抵抗による電力損失と推定できる。23~24 時台に走行する 1 編成について、海老名・橋本間を走行した場合の変電所電力量と車両電力量の推移を図 4 に、1 秒単位での架線損失量の分布を図 5 に示す。

今回の測定では、変電所側電力量が 113.7kWh、車両側電力量が 110.0kWh となり、約 3.7 kWh の損失が見られた。したがって変電所送電電力量と車両側電力量間の架線損失は約 3.3%程度となることが明らかになった。ただし、今回の測定は変電所区間に 1 編成が走行した場合の結果であり、より多くの編成が走行する場合には架線電流が増えるため、架線による損失は更に増加する可能性が考えられる。

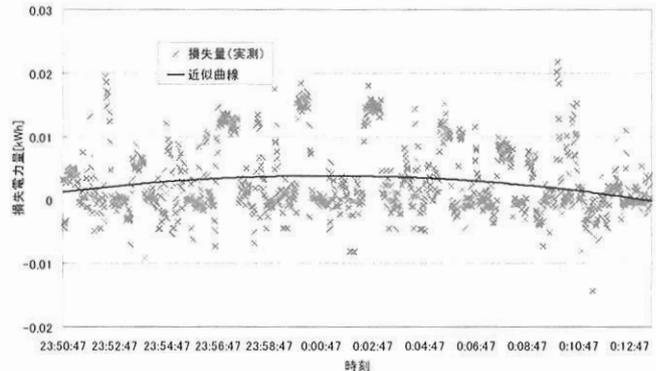


図 5 架線損失量の分布

3.2 変電所と車上のデータ

海老名→入谷走行中に速度 63km/h ブレーキ 6 ノッチ扱い時の回生電流を見える化した概要を図 6 に示す。発生した回生電流 308A を補機が 23A 消費し、残りの 284A を一方は海老名変電所方向に 40A、橋本変電所方向に 247A 流れていた。これにより、回生エネルギーは 10km 以上先にある負荷へも送れることがわかる。

このように地上と車上の測定データを同時に測定することで、地上～車間上の電流の流れが見える化できる。

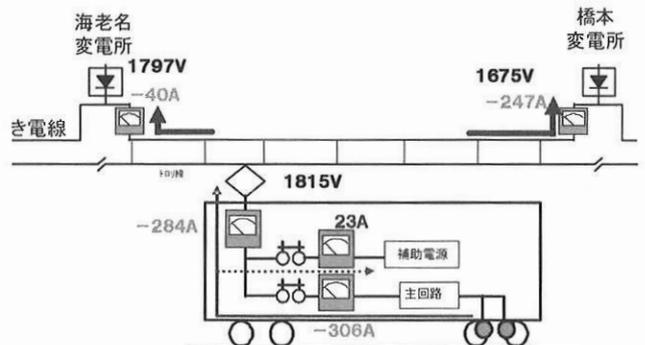


図 6 消費電力の見える化

3.3 車上のデータ

(1) 架線電圧の見える化

図 7 は海老名変電所・橋本変電所間に 1 編成のみ走行した場合の架線電圧変化を表したものである。一般に変電所から離れるほど電圧降下するが、車上の測定データからも海老名変電所、或いは橋本変電所から原当麻に向かうにつれて架線電圧が低下する傾向にあることがわかる。

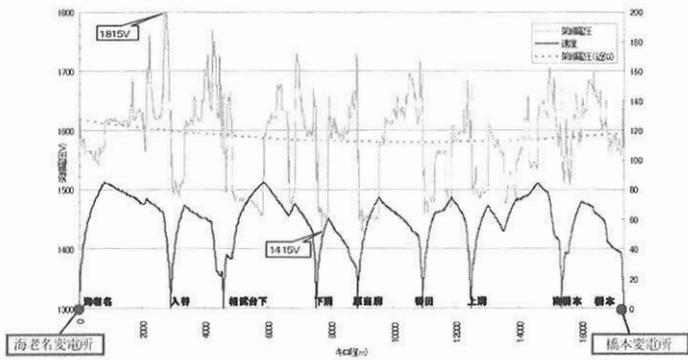


図 7 変電所からの距離と架線電圧

(2) 補機消費電力

図 8 に 1 編成 (4 両) 当たりの補機消費電力の内訳を示す。冬期は暖房で 42.5kW、夏期は冷房で 54~77kW 消費する。また、蛍光灯は全点灯時 5.5kW であるが、中間期より節電のため客室内にある蛍光灯の本数を 92 本から 68 本で運用しており 4kW となる。

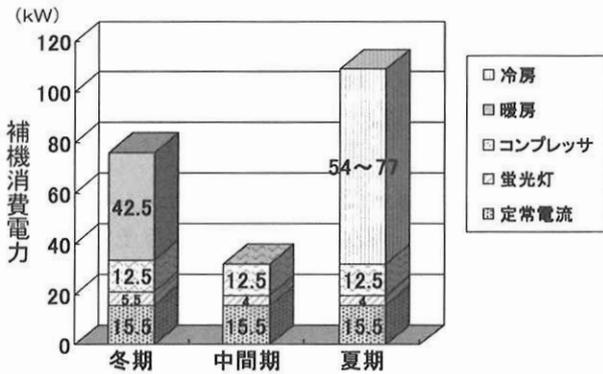


図 8 補機消費電力内訳 (停車時)

(3) 車両の消費電力

図 9 は、海老名・橋本間 (17.4km) を走行するのに必要な 1 列車当たりの消費電力を示している。5 月に測定した中間期での消費電力の内訳は、走行消費電力が 81%、回生電力が 12%、補機消費電力が 7% の割合となった。一方、7 月の夏期に測定した場合には、冷房の消費電力が増加するため走行消費電力が 70%、回生電力が 9%、補機消費電力が 21% の割合となる。

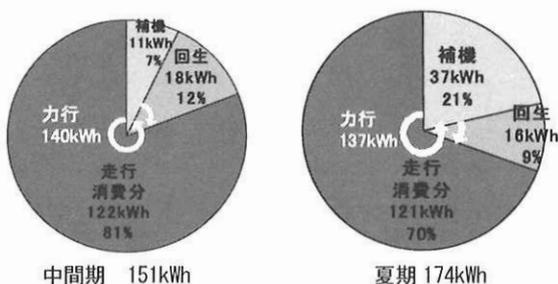


図 9 車両の消費電力内訳 (海老名→橋本間 1 列車当り)

(4) 勾配の違いによる原単位と回生率

一般に鉄道車両の使用電力量を評価する際は、1 両が 1km 走行するのに使用した電力量[kWh]が用いられ、これを原単位という。

勾配の違いによる原単位を回生絞込みが比較的発生しにくい通勤時間帯の列車で測定したデータと比較すると、上り勾配 7% の海老名・橋本間で最も高く 1.95 となった。また、回生率は下り勾配 7% で回生率が最も高く約 40% となり、逆に上り勾配 7% で約 10% となった。

表 1 勾配の違いによる走行消費電力と回生率

		茅ヶ崎～海老名 15.9km 平均勾配 1 ‰	海老名～橋本 17.4km 平均勾配 7 ‰
上り勾配	走行消費電力	83.8kWh	135.9 kWh
	原単位 kWh/ (km・c)	1.32	1.95
	回生率	15%	10%
下り勾配	走行消費電力	76.9 kWh	50.9 kWh
	原単位 kWh/ (km・c)	1.21	0.73
	回生率	22%	40%

3.3 回生絞り込みと消費電力損失

(1) 各駅の回生エネルギーの平均と最大消費

回生電力は、自車内で消費されたり他の列車負荷等によってすべて電システム内で消費されなければならない。しかし、ある瞬間の列車群の状況によっては、そうした列車負荷が十分存在しないことがある。路線全体としては、十分存在する場合であっても、回生する列車の位置から遠く、回生電力を届けることができない場合がある。回生電力が消費されない場合、架線電圧が上昇し回生ブレーキは失効する。図 10 は、205 系の回生絞り込み特性を示す。

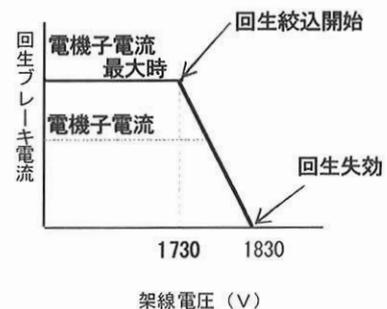


図 10 回生絞り込み特性

(2) 回生絞り込みのない場合の消費電力

相模線の間中駅である海老名付近での回生状態を図 11 に示す。図よりブレーキ開始速度、ブレーキノッチが同じ条件下で回生ブレーキが最大限働いている場合と回生絞り込み制御が行われている場合を比較すると 150~200A の差があることが明らかとなった。この時の回生電力は、約

0.98kWh 程度になり、回生絞込みが発生しない条件下では、1日当たり列車本数に換算すると約 120~130kWh 程度[※]の回生エネルギーが損失している。

この損失を低減する方法として、地上あるいは車上に電力貯蔵装置を設置等が考えられる。

※ 架線電圧 1770V、回生ブレーキ中の時間 10 秒、1日の本数 130 本として算出。

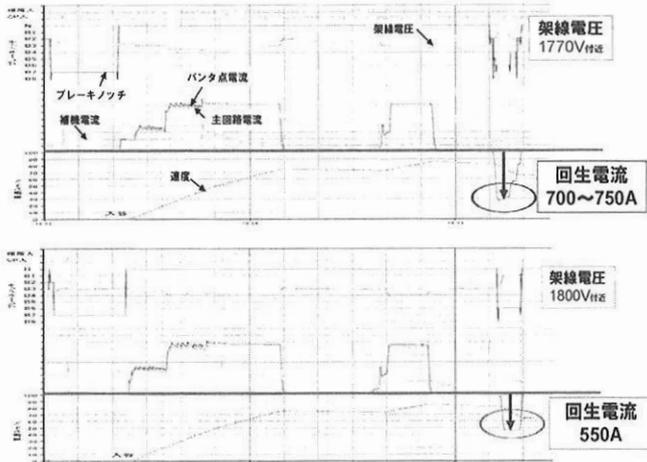


図 11 回生絞込みの例 (上段：絞込み無 下段：絞込み有)

(3) 変電所区間別の電圧の割合

図 12 は、変電所区間別に各時間帯に走行する 1 列車をピックアップし、列車毎の架線電圧の時間割合を 100% 積上げ棒グラフにしたものである。朝の通勤時間帯 (663F 付近) で 1620V を越える割合が最も少なくなり、昼間帯 (1163F 付近) になるにつれ多くなる。そして夕方の通勤時間帯 (1763F 付近) になるにつれ再び減少する傾向がある。

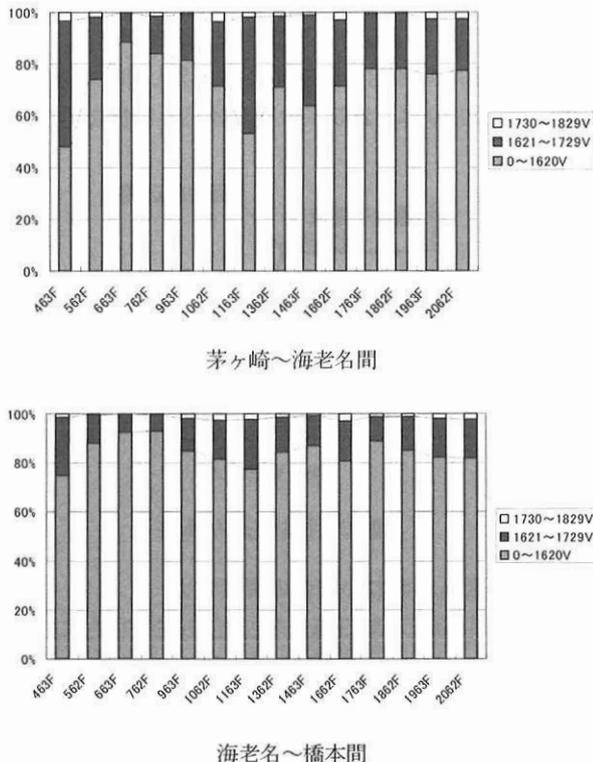


図 12 変電所区間別電圧分布 (列車別)

さらに、図 13 は 1 日を通した架線電圧の時間割合の一例を示す。海老名・橋本間は 1620V を越える割合は約 14% であるのに対し、茅ヶ崎・海老名間は約 25% とやや多く、変電所のデータから得られた結果と同じ傾向であることがわかる。回生絞込みが始まる 1730V 以上になる割合はいずれの区間も 2% 以下となっている。

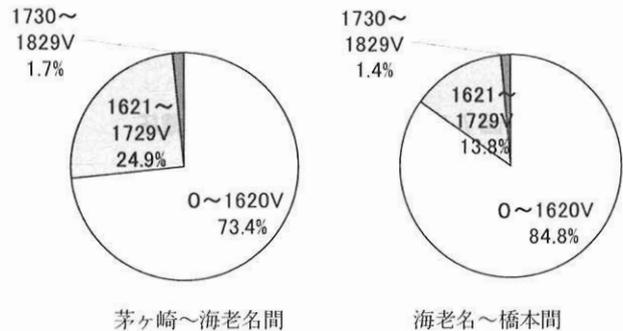


図 13 変電所区間別電圧分布

4. まとめ

今回の測定により、地上と車上の電力量を精度よく測定する手法が確立された。これにより、測定データからエネルギー消費低減方策に向けた提言をすることが可能となった。

今回は、単線線区での測定であったが、今後は、複線区間の閑散線区、稠密線区の測定を行う予定である。そして、測定データを基に高効率シミュレーションを実施し検討および評価することで鉄道の優位性を活かした最適化を進めていく。