

運転エネルギーの 定量化



廣瀬 寛*



藺田 秀樹*



飯野 友記*



正月 一郎**

JR東日本は、鉄道車両の運転エネルギー削減を目的として、減速時の運動エネルギーを電気エネルギーに換える「回生ブレーキ」を搭載した省エネルギー車両の導入を進めている。

運転エネルギーについて正確な計測を行うため、車両と変電所の電力量を同時測定することに着想し、車両と変電所にGPSで時刻補正を可能とする機能がついた積算電力量計を使用して、同時測定を相模線にて実施した。これにより、運転エネルギーの流れについて分析・評価が可能になり、回生エネルギーは変電所を超えて流れることがあること、送出電力と車両の消費電力の差分から架線による損失などを確認した。

●キーワード：運転エネルギー、積算電力、回生ブレーキ、回生絞込制御、変電所、同期

1. はじめに

環境技術研究所では、環境負荷削減に向けた取組みとして、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、相模線をモデル線区として地上と車上に積算電力量計を設置し、詳細な電力測定を実施した。

本稿では、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

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。

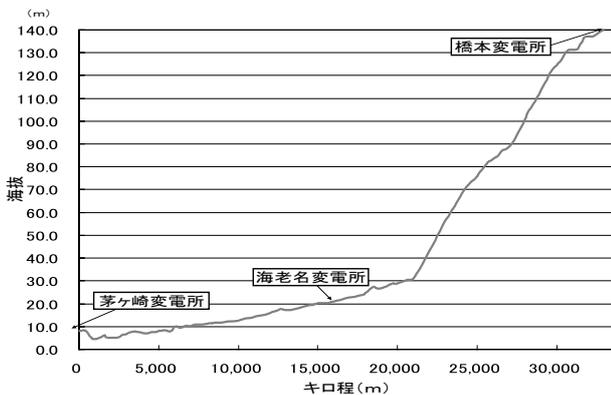


図1 相模線の勾配と変電所の位置

2.2 変電所および電車線路

相模線における電気方式は直流1500Vき電方式であり、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ヶ所である。（括弧内のキロ程は茅ヶ崎駅起点における位置）また、き電回線は母線を介して茅ヶ崎変電所で東海道線方面、橋本変電所で横浜線方面へと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。

2.3 車両

相模線において運用されている車両はすべて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、MT比は2M2T、M'車に190kVA電動発電機を搭載している。

2.4 列車本数

茅ヶ崎変電所～海老名変電所間、海老名変電所～橋本変電所間に在線する列車本数はそれぞれラッシュ時間帯で4～5本、昼間帯は2～3本である。

2.5 運転エネルギー測定方法

今回の測定では、茅ヶ崎変電所の相13H、海老名変電所の11Hおよび13H、橋本変電所の相11Hに積算電力量計を設置し、き電電力量を測定した。また、車両には既存の断路器箱を取外し積算電力量計付の断路器箱を取付けること

で走行電力量を測定した。なお、地上と車上の測定データの時刻の同期をとるため、時刻補正を可能にするGPSアンテナを変電所および車両妻部にそれぞれ設置した。

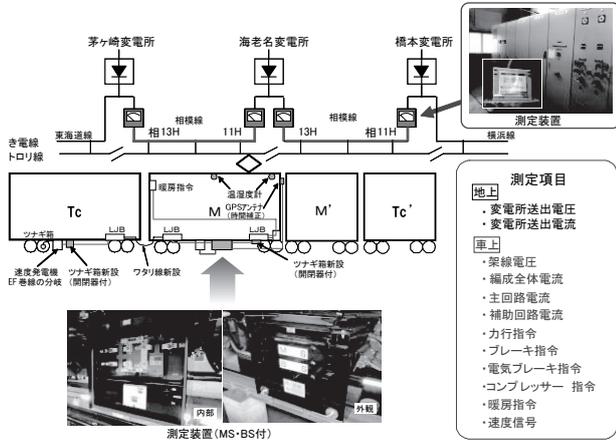


図2 消費電力測定概要

3. 運転エネルギーの定量化

3.1 変電所のデータ

3.1.1 変電所母線電圧の推移

春期（5月）および夏期（7月）の平日における茅ヶ崎、海老名、橋本変電所の平均母線電圧の推移を図3、図4に示す。

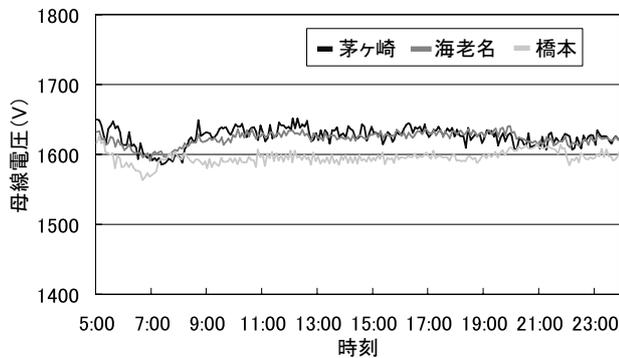


図3 春期における変電所母線電圧の推移

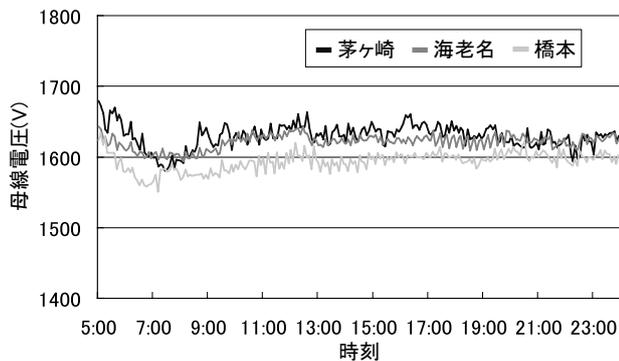


図4 夏期の変電所母線電圧の推移

図3および4より、春期および夏期とも、日中時間帯から夜間にかけて定期的に橋本変電所の母線電圧が茅ヶ崎、海老名変電所よりも低い値となっていることが確認できる。

3.1.2 変電所区間外への融通電力量の定量化

相模線は単線のため走行する列車本数も少なく、車両により発生した回生電力を各変電所区間で消費する機会が少ない。このため、変電所区間内だけでなく、変電所を越えた区間にも融通されるため、変電所区間外における融通電力量を定量化した。春期（5月）および夏期（7月）の平日における各変電所回線別の平均融通電力および平均融通電力量を図5から図8に示す。

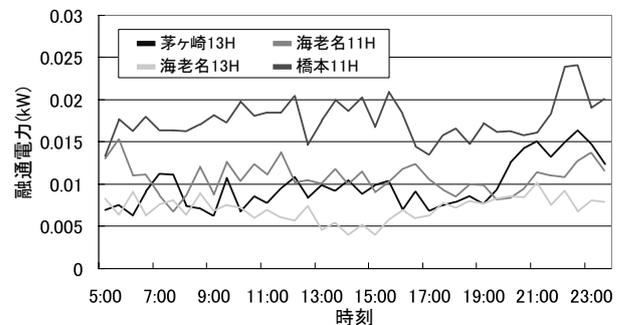


図5 春期の変電所区間外への平均融通電力

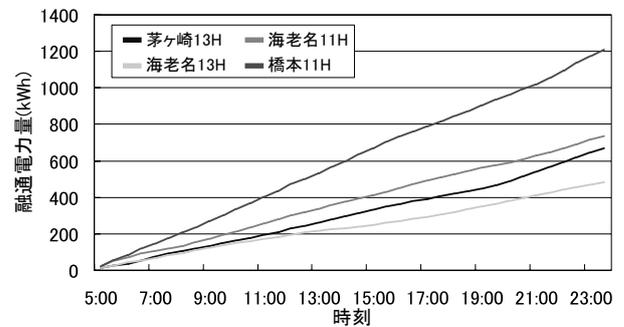


図6 春期の変電所区間外への平均融通電力量（積算）

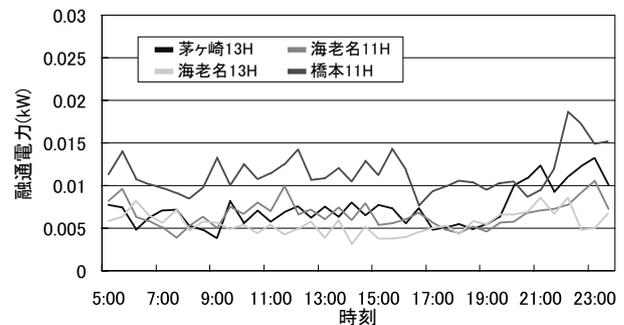


図7 夏期の変電所区間外への平均融通電力

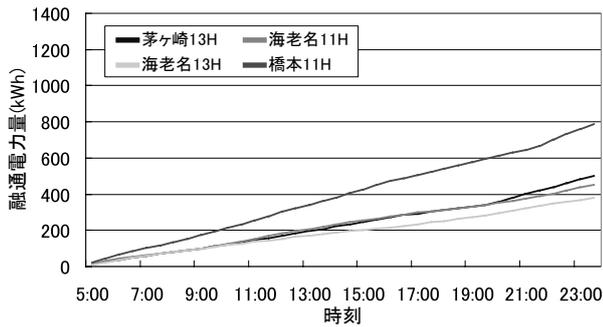


図8 夏期の変電所区間外への平均融通電力量 (積算)

図5～8より、春期の方が夏期よりも多くの電力量が変電所区間外に融通されていることが分かる。これは、夏期では車両の空調機器が定常的に使用されることにより、発生する回生電力が区間内で消費される機会が増加したためと考えられる。また、茅ヶ崎・海老名変電所間（茅ヶ崎相13Hおよび海老名11H）よりも海老名・橋本変電所間（海老名13Hおよび橋本相11H）から区間外へ融通される電力量のほうが大きい。これは、海老名・橋本駅間の方が勾配がきつく、停車時に発生する回生電力が大きいためであると考えられる。

時間別で見ると、東海道線に繋がっている茅ヶ崎変電所相13Hと横浜線に繋がっている橋本変電所相11H回線について、夕方ラッシュ時間帯である17時から19時付近で融通電力量が減少している。これは相模線内を走行する列車本数がラッシュに伴い増加することで、相模線内での負荷が増加したためと考えられる。

一方、春期、夏期ともに橋本変電所相11H回線を経由して横浜線方面に多くの回生電力の融通が行われている。これは3.1.1で示したとおり、橋本変電所の母線電圧が、隣接している海老名変電所に比べ低く、回生電力発生時における車両のパンタ点電圧との電位差が大きくなるため、より多くの電力が横浜線方面に融通されたと考えられる。このように、変電所の母線電圧を低くすることで、車両の回生エネルギーをより多く活用できる可能性がある。しかし、変電所の送り出し電圧を低下させると必然的に車両のパンタ点電圧も低下するため、結果的に運転性能の低下や電流増による架線損失増加とのトレードオフとなる。

3.2 変電所と車上のデータ

3.2.1 架線損失の定量化

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る。これは架線抵抗およびレール抵抗における電力損失と推定できる。この損失を定量化するため、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き電力量と車両電力量の推移を図9に示す。

今回の測定では、変電所のき電電力量が113.7kWh、車両消費電力量が110.0kWhとなり、損失量は約3.7kWhと定量化できた。なお、今回の測定は変電所区間内に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変電所の送り出し電流が増加するため、架線による損失量はさらに増加する。

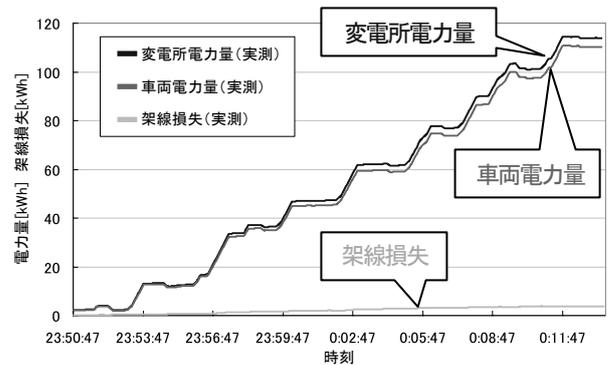


図9 架線による損失

3.2.2 回生エネルギーの流れ

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定量化したデータを図10に示す。発生した回生電流300Aを補機が20A消費し、残り280Aを一方は海老名変電所方向に40A、もう一方は橋本変電所方向に240A流れていることがわかった。回生エネルギーは変電所を超えて10km以上先にある負荷に流れることが確認できた。

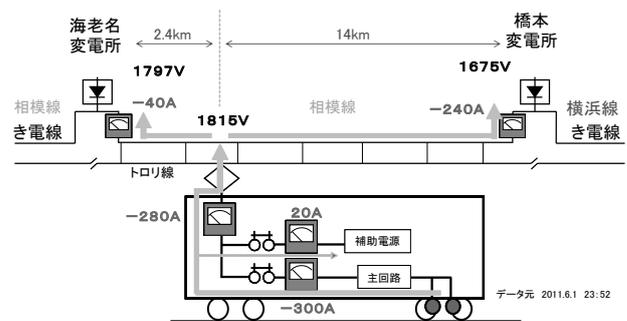


図10 回生エネルギーの流れ

3.3 車上のデータ

3.3.1 変電所からの距離と架線電圧の関係

23～24時台に海老名変電所・橋本変電所間で1編成のみ走行した場合の架線電圧変化を図11に示す。一般に変電所から離れるほど架線電圧は降下するが、車上の測定データからも海老名変電所、あるいは橋本変電所から変電所間の中間駅である下溝や原当麻に向かうにつれて架線電圧(パンタ点電圧)が降下する傾向にあることがわかる。また、停車時のブレーキでは各駅とも架線電圧は1620Vから1700V程度まで上昇する。

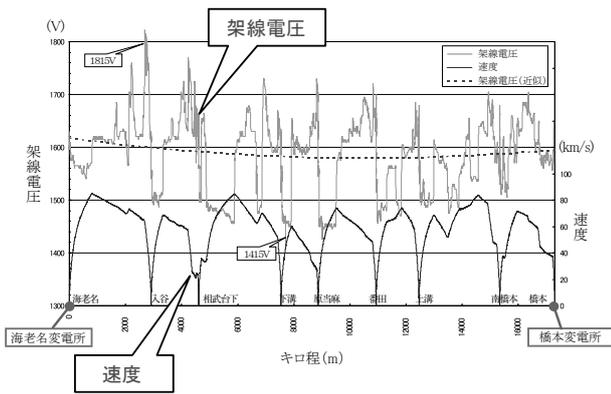


図11 変電所からの距離と架線電圧

3.3.2 軽負荷時における回生電流

回生電力は、自転車あるいは他の列車負荷などによって消費されるが、ある瞬間にはそうした列車負荷が十分存在しないことがある。回生電力が消費されない場合、回生ブレーキは失効するが、205系では、1830Vで回生絞込みになるように制御されている。ブレーキ開始速度、ブレーキノッチが同じ条件下（B6ノッチ）で回生ブレーキが最大限働いている場合と回生絞込制御が行われている場合を比較したのが図12である。回生電流に150~200Aの差があることが明らかとなった。

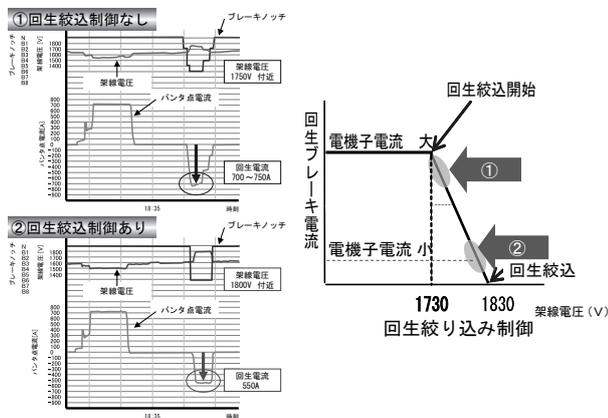


図12 軽負荷時における回生電流

3.3.3 相模線における使用電力量と回生率

図13は車両の使用電力量と回生率について、勾配区間別にまとめたものである。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・橋本間で最も高く走行原単位^{*}は1.95kWh/km/両となった。また、回生率はほぼ平坦な平均勾配1%では15~22%となり、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。7%程度の下り勾配では力行原単位は少なく回生原単位は大きくなるため回生率は高くなる。なお、5月から6月にかけて測定した相模線全線での回生率は約20%となった。

※原単位：走行距離あたりのエネルギー消費量 (kWh) を編成両数で割ったもの。

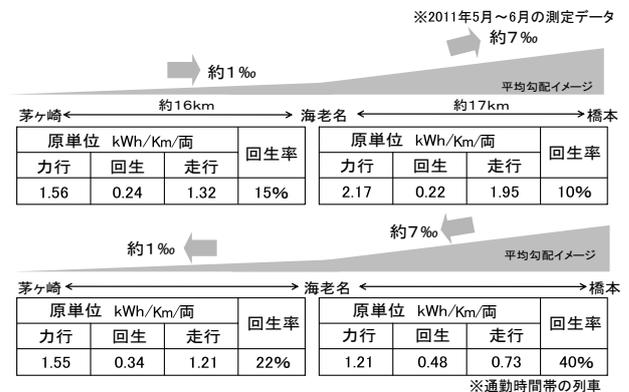


図13 相模線205系の使用電力量

また、補機消費電力について1編成（4両）当たりの補機消費電力の内訳を図14に示す。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本で運用したため4kWとなった。

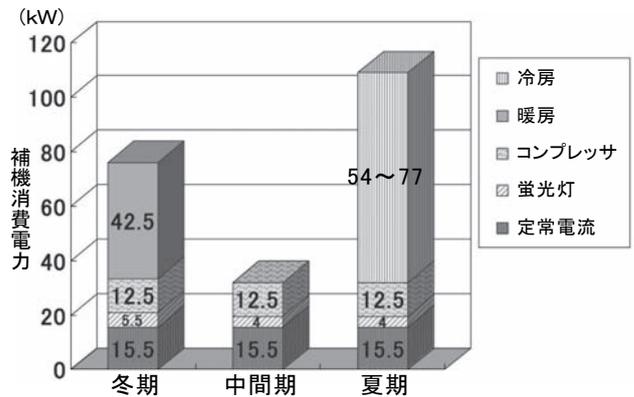


図14 補機消費電力内訳（停車時）

4. おわりに

今回の測定では、車両と変電所の積算電力の同時測定を実施することにより運転エネルギーの流れを把握し、分析・評価を可能とした。今回は単線区間での測定であったが、今後山手線などの複線区間にて測定を行い運転エネルギーの実態把握を行う予定である。

参考文献

- 1) 飯野友記, 廣瀬寛: 相模線における運転エネルギーの定量化, 第18回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL 2011)