

新幹線における運転エネルギーの測定と分析

The measurement and analysis of the driving energy in the Shinkansen



水口 芳樹*



蘭田 秀樹*

Reduction of the electricity consumption of the railway vehicle is an urgent problem of JR East. We performed the measurement and analysis about running energy of the Shinkansen train which ran high speed and a long distance in this time. And we clarified behavior such as the electric power for all units in the train set. The measurement utilized an intelligent function of Shinkansen train information management system (S-TIMS) of E5 series. Furthermore, we attached an integrating wattmeter to the inside of the converter inverter and attached a current sensor in the main transformer to grasp a pantograph point current exactly.

●キーワード：E5 系、S-TIMS、力行電力量、回生電力量、補機電力量

1. はじめに

鉄道の消費電力量削減はJR東日本において重要な課題の一つである。当社では運転エネルギー削減に向けた取り組みの一環として、在来線での電力量測定および分析を相模線や山手線で以前行い、力行、回生および走行消費電力量、補機消費電力量を明らかにした。今回は高速かつ長距離を走行する新幹線において走行エネルギー等を測定・分析し、編成内の全ユニット分の電力等の挙動を明らかにした。

2. 測定概要

今回の測定はE5系新幹線電車(図1)を用いて行った。E5系は東北新幹線において最高速度320km/hで運転されており、S-TIMS (Shinkansen Train information Management System) で編成一括管理制御を行っている。



図1 E5系新幹線電車

図2に測定機器の仮設概要を示す。E5系新幹線電車に搭載されているS-TIMSは営業走行時においてもノッチ操作や積算電力量を測定している。この機能を活用して、一定期間の測定データを記録できるように記録装置を運転室機器室内に取付けた。また、測定データを記録装置に送信できるようにS-TIMSおよび空調のソフトを変更した。主な測定項目は以下の通りである。

- ・運転指令(ノッチ操作等)
- ・速度、走行位置等
- ・補機電力(空調、コンプレッサ、全体)
- ・空調(冷房・暖房)電力

記録装置は車両の加圧、無加圧に合わせて自動起動及び自動終了に対応している。また、記録装置内で記録されたデータはCFカードに保存され、最低過去約2週間分(360時間分)のデータが保存される。

更に、パンタ点電流をより正確に把握するため、主変圧器の1~3次の電線に電流を測定するための電流センサを、電力変換装置内には積算電力計を仮設して測定を行った。積算電力計内で記録されたデータはSDカードに保存され、2週間分のデータが保存される。主な測定項目は以下の通りである。

- ・1次電力
- ・2次(力行・回生)電力
- ・3次(補機)電力

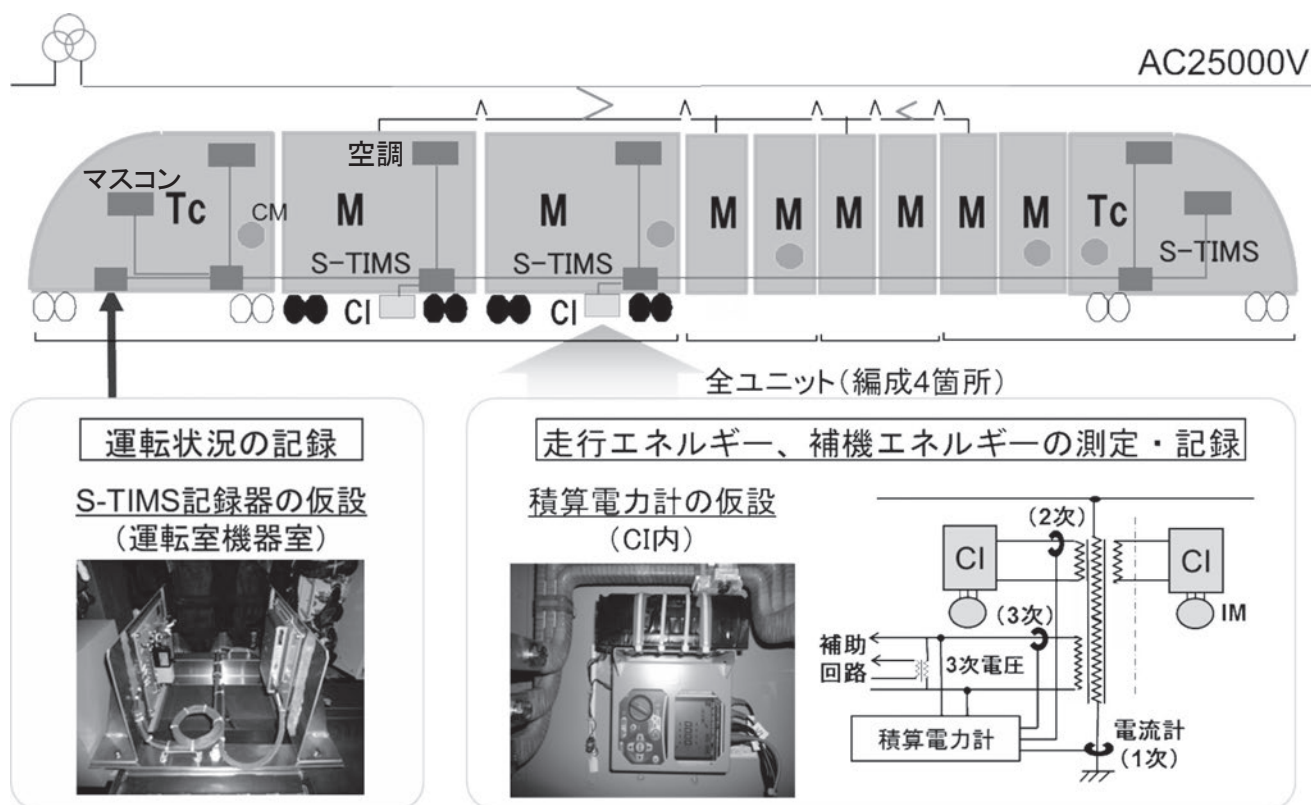


図2 測定機器の仮設概要

3. 測定結果

3.1 運用による運転エネルギーの比較

各運行パターンにおける東京～仙台間の運転エネルギーを表1に示す。運行パターンによってエネルギーの消費が大きく異なり、最高速度が320km/hと最も高く、かつ途中の停車駅が少ない「はやぶさ」が最もエネルギー消費量が大きくなった。運行パターンがほぼ同じで最高速度が275km/hと異なる「はやて」と比較してもエネルギー消費量が異なっている。

表1から代表的なものとして、「はやぶさ」と「やまびこ（各駅停車）」の走行チャートを図3に示す。「はやぶさ」は長距離を高速かつ一定の速度を保って走行しているが、高速走行時でも電力を継続的に消費していることがわかる。また、大きい回生電力が発生しているのが仙台駅に停車する時だけであるため、走行電力量（力行－回生）についても最も大

きくなった。

「やまびこ（各駅停車）」は停車駅が多く、発車時の加速が多いため、「はやぶさ」と比べても力行電力量の差が小さいが、一方でブレーキの回数も多いため回生電力量も大きくなり、走行電力量は「はやぶさ」よりも小さくなった。

この結果から運転エネルギーの消費は速度が大きく影響し、最高速度が高いほど運転エネルギーが大きくなることがわかった。これは、走行抵抗が速度の2乗で増加し、速度が増えるほど走行抵抗に打ち勝つために必要なエネルギーが大きくなるためである。また交流き電の場合、き電区間が長く発生した電力を他の車両が消費する機会も多いことや回路上、容易に回生電力を系統側に戻すことが可能であり、回生絞り込みを行わずに車両で発生した回生電力を系統側に戻すことができる。そのため途中の停車駅数が多いほどブレーキの回数も増えて回生電力量が増大した。

表1 東京～仙台間の運転エネルギー（はやぶさの力行電力量を1とした場合）

列車名	停車駅数	走行 時分	力行 電力量	回生 電力量	走行電力量 (力行電力量-回生電力量)
はやぶさ	2	1:29	1.00	0.06	0.94
はやて	3	1:44	0.75	0.06	0.69
やまびこ (主要駅停車)	6	1:59	0.95	0.18	0.77
やまびこ (白石蔵王駅以外停車)	9	2:17	0.92	0.27	0.65

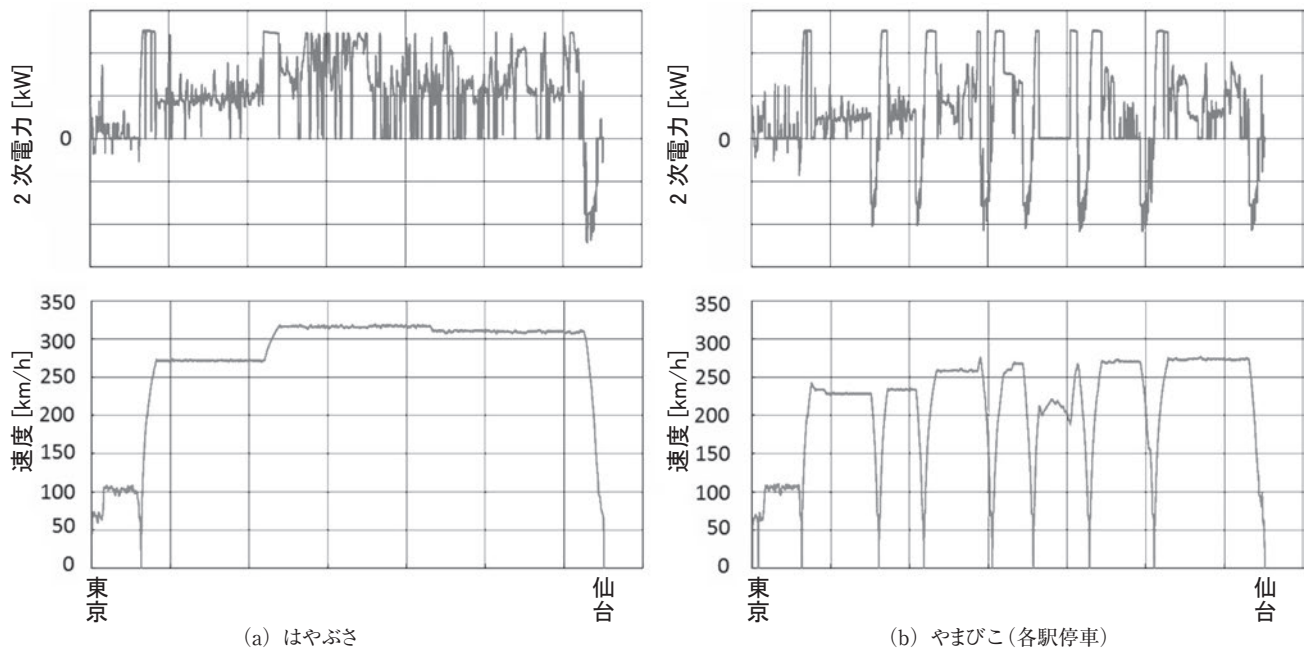


図3 東京～仙台間の走行チャート

3.2 運転操作による運転エネルギーの比較

図4に、ある区間での平均速度に対する走行電力量をプロットしたものを示す。平均速度が高いほど走行電力量が増大しているが、平均速度がほぼ同じにもかかわらず走行電力量が異なる列車が存在している。その2つの列車について比較したものを表2に、2つの列車の速度および電力変化を図5に示す。なお、この区間における2つの列車の走行時分は3%程度の差で、ほぼ同じ時分といえる。Train Aは区間内全て自動定

速運転で走行しており、ほとんどの区間で力行し続けている。一方、Train Bは手動ノッチ扱いが見られ、断続的にノッチを切り替えて力行・惰行・回生を繰り返している。その結果Train Bでは惰行や回生が動作している時間がTrain Aより多くなったため、走行電力量がTrain Aと比較して小さくなった。この結果から同じ走行時分でも運転操作を工夫することで省エネ運転の実現が可能であると思われる。

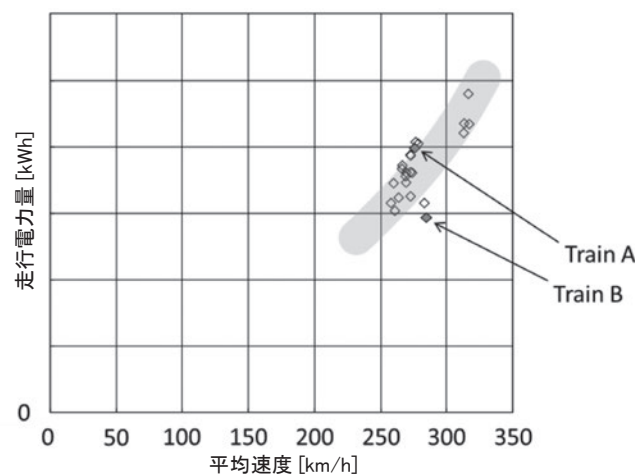


図4 同一区間における走行電力量

表2 同一区間における走行電力量の比較 (Train Aの力行電力量を1とした場合)

	平均速度 (km/h)	力行 電力量	回生 電力量	走行 電力量
Train A	275	1.00	0.00	1.00
Train B	285	0.83	0.10	0.73

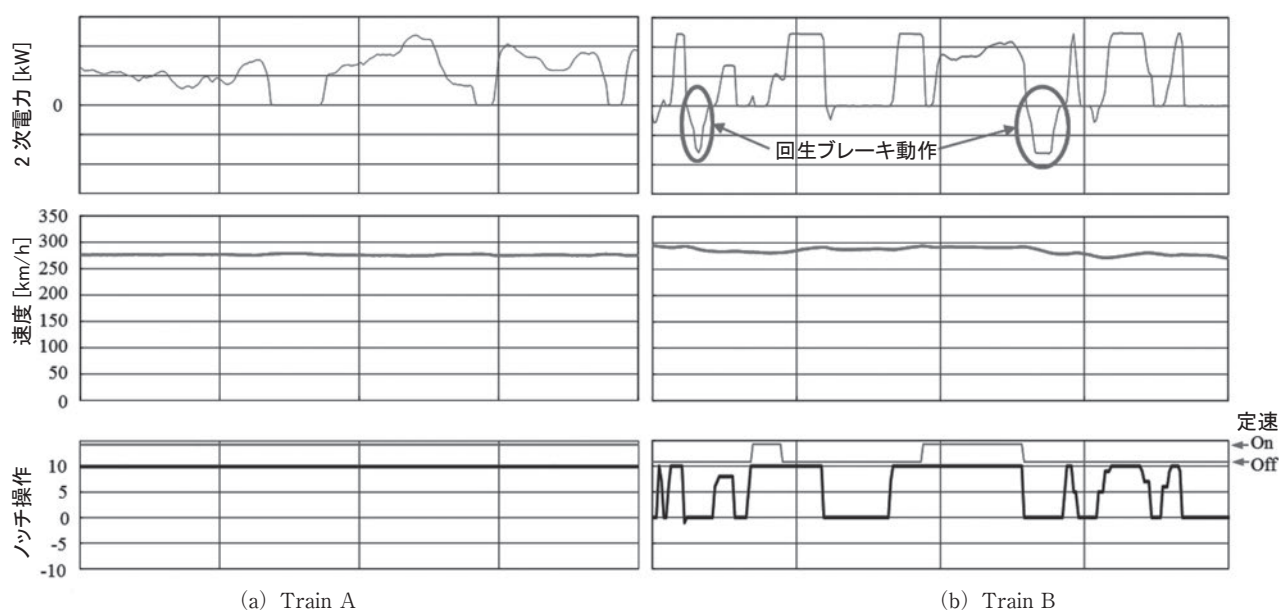


図5 同一区間での走行チャート

3.3 ブレーキによる運転エネルギーの比較

図6に仙台駅到着時の回生電力量と最高速度をプロットしたものを示す。最高速度が高いほど回生電力量が大きくなっており、回生電力量の大きさが速度に依存していることがわかる。一方で前項と同様に最高速度がほぼ同じにもかかわらず回生電力量が異なる列車が存在していた。その2つの

列車について比較したものを表3に、2つの列車の速度および電力変化を図7に示す。図6からTrain Aの回生電力量がTrain Bより大きくなっているが、表3より走行電力量は同じとなった。これは図7よりTrain Bは惰行している区間があり、その区間では運転エネルギーが走行抵抗に消費され、回生されていないためである。

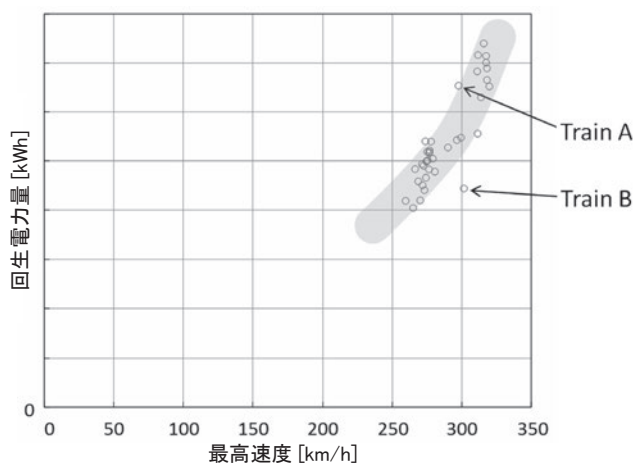


図6 仙台駅到着時の回生電力量

表3 仙台駅到着時における回生電力量の比較 (Train Aの力行電力量を1とした場合)

	最高速度 (km/h)	力行 電力量	回生 電力量	走行 電力量
Train A	300	1.00	1.11	-0.11
Train B	300	0.65	0.76	-0.11

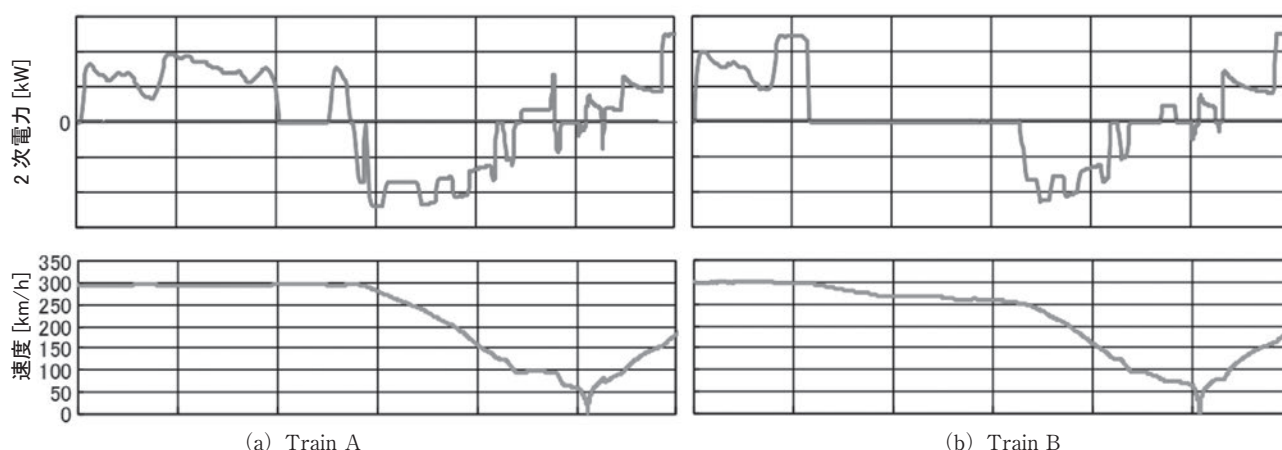


図7 仙台到着時の走行チャート

3.4 架線電圧の影響

架線電圧の影響による運転エネルギーの変化について分析を行った。図8に、ある区間で一定かつほぼ同じ速度で走行した列車の走行電力量と架線電圧の関係を示す。なお、測定時の電圧が定格電圧の25kVより常に高い状態となっているが、これは全ての区間および時間帯で同じ状態であった。同じ架線電圧でも走行電力量が異なる列車が存在する場合や、逆に架線電圧が異なる場合でも走行電力量が同等の列車が存在しており、架線電圧による運転エネルギーの変化は見られなかった。これはコンバータの制御によるものと思われる。

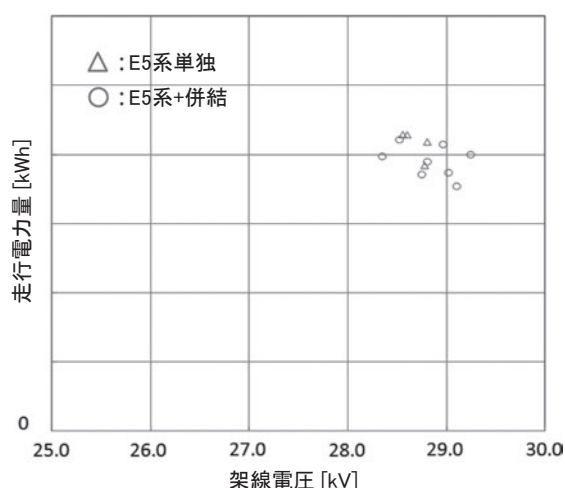


図8 架線電圧の影響による走行電力量の変化

仙台駅到着時の架線電圧の影響による回生エネルギーの変化について、図9に回生電力量と架線電圧の関係を示す。図8と同様に、同じ架線電圧でも回生電力量が異なる列車が存在する場合や、逆に架線電圧が異なる場合でも回生電力量が同等の列車が存在しており、架線電圧による回生電力量の変化は見られなかった。また、回生エネルギーの増加による架線電圧が上昇するような傾向も見られなかった。

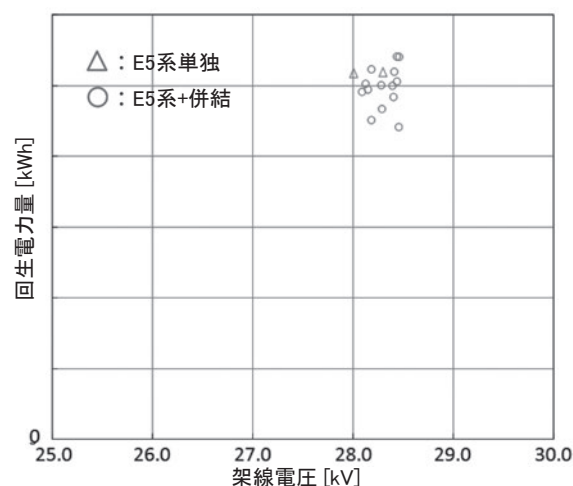


図9 架線電圧の影響による回生電力量の変化

3.5 補機エネルギー

東京～仙台間で1時間当たり消費した補機電力量と平均外気温の関係を図10に示す。補機電力量は空調で消費する電力量によって大きく変化し、周囲の温度（平均外気温）によって消費量が変化する。東京～仙台間での平均外気温が15℃付近で補機電力量の消費量が最も小さくなり、15℃から離れていくにつれて電力量の消費が大きくなった。これは平均外気温が15℃以下では暖房が動作して気温が低くなるほど暖房で消費する電力量が大きくなり、15℃以上では冷房が動作して気温が高くなるほど冷房で消費する電力量が大きくなるからである。今回の測定期間では、冷房電力量が暖房電力量を上回る結果となり、冷房使用時での補機電力量最大値が暖房使用時での補機電力量最大値の約1.4倍となった。

過去に測定・分析した山手線では乗車率が高いほど補機電力量の消費が大きくなる傾向が見られた。そのため、E5系でも同様の結果になるか分析を行った。東京～仙台間で1時間当たり消費した補機電力量と東京～仙台間の平均AS圧（空気ばね圧）の関係を図11に示す。なお、平均AS圧の数値は10両編成の合計値であり、今回の測定では乗車率が記録されないため、平均AS圧を用いて分析を行った。平均AS圧が高めのところで補機電力量が大きい箇所がみられるが、これは外気温によるものである。平均AS圧が変化しても補機電力量に必ずしも大きくならず、AS圧については特に因果関係は見られなかった。

4. おわりに

今回の測定により、E5系新幹線の運転エネルギーおよび補機エネルギーが明らかとなった。また、新幹線では運行パターンにより運転エネルギーの消費が異なり、速度が大きく影響することがわかった。一方で運転方法によりエネルギーの消費が変化することから、この結果を更なる省エネを図るための検討材料とし、測定結果の分析を進めて省エネ車両の開発と省エネ運転の実現に向けて検討していく。

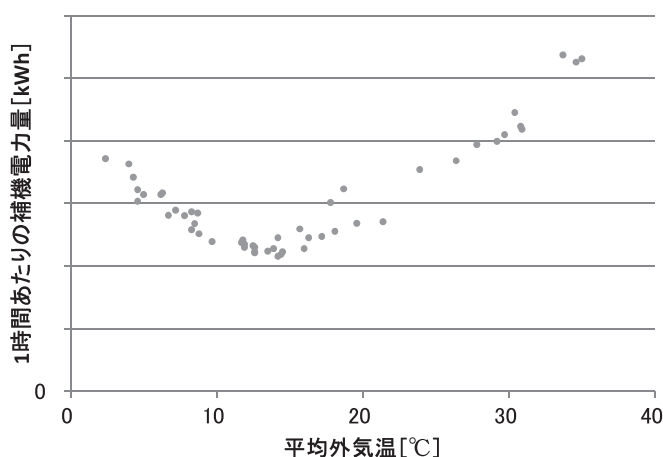


図10 外気温と1時間あたりの補機電力量

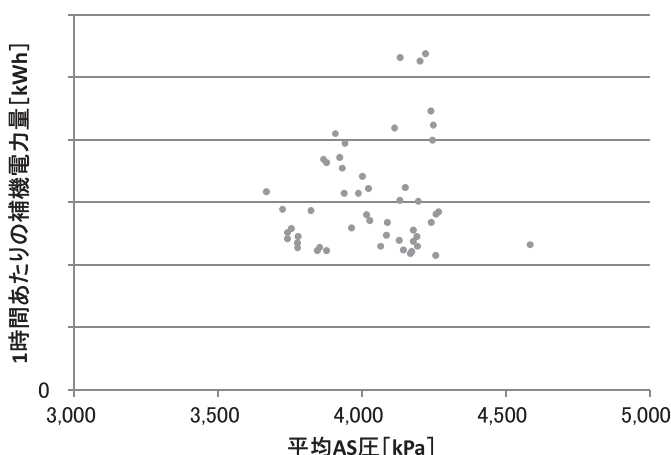


図11 平均AS圧と1時間あたりの補機電力量

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講演論文集, pp.589-592, 2011
- 2) 真保光男、神孫子博、藺田秀樹、水口芳樹：「山手線における運転エネルギーの測定と分析」, 第20回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.399-402, 2013