

省エネ運転支援ツールの開発



柴田 悠介*1



磯 峻介*2



飯田 隆幸*3

Development of energy-saving driving support tools

Yusuke SHIBATA*1, Shunsuke ISO*2, and Takayuki IIDA*3

*1 Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*2 Assistant Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*3 Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

JR East is working on research into energy-saving driving by devising driver operations to reduce driving energy. In this research, we developed an energy-saving driving support tool that enables "visualization of energy-saving driving as a model" and "visualization of own energy-saving driving results" by utilizing Train monitoring data of Yamanote Line E235 series trains.

●**Keywords:** Energy saving driving, Train monitoring data, Yamanote Line, Train-ground data transmission

*1JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 研究員
*2JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 副主幹研究員
*3JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 主幹研究員

1. 緒言

JR東日本研究開発センター環境技術研究所では、列車運転用エネルギー削減に向けて、乗務員の運転操作の工夫による省エネ運転の研究に取り組んでいる。これまでに、省エネ運転を目指す乗務員のサポートを目的として、山手線E235系電車の車両データを活用し、「手本とする省エネ運転の見える化」および「自身の省エネ運転結果の見える化」を可能にする「省エネ運転支援ツール」を開発した。本稿では、開発した省エネ運転支援ツールと、ツールを活用して山手線の乗務員が営業列車で省エネ運転を試行した結果を紹介する。

2. 省エネ運転支援ツールの概要

省エネ運転の実践には、まず省エネとなる具体的な運転操作を乗務員が知る必要がある。次に、乗務員が自身の運転結果を消費電力量や運転操作について、省エネの観点から評価できる必要がある。一般的に、加速を抑えて惰行を活用することで省エネに繋がることは知られているが、具体的な省エネ運転操作は勾配や速度制限など線形条件により異なる。客観的なデータに基づいた省エネ運転操作は不明であり、個々の運転に対して省エネの観点から運転を評価する仕組みはこれまで存在しなかった。

開発した省エネ運転支援ツールは山手線E235系電車の車両モニタリングシステムを活用している。車両モニタリングシステムとは、機器の状態に応じて必要なメンテナンスを実施する状態基準保全 (CBM: Condition Based Maintenance) の実現を目的としたシステムである。E235系電車は車両に搭載された各機器の膨大な状態データ (以下、車両モニタリングデータ) を取得している。

省エネ運転支援ツールのイメージを図1に示す。開発したツールは、山手線E235系電車の車両モニタリングデータの中から、架線電圧、架線電流、時刻情報、走行キロ程、列車速度、乗車率、ノッチ操作などの運転エネルギーに関するデータを取得して、消費電力量、運転曲線および運転操作を見える化できる。また、「省エネ運転分析機能」と「運転結果振返り機能」の2つの機能を有する。



図1 省エネ運転支援ツールのイメージ

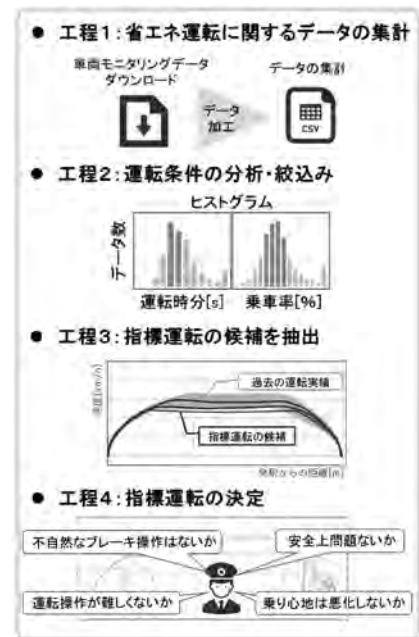


図2 指標運転の選定イメージ

2・1 省エネ運転分析機能

過去の運転実績から消費電力量や駅間の所要時間（以下、運転時分）および乗車率などを分析して、乗務員が手本とする省エネ運転（以下、指標運転）を抽出できる機能である。指標運転の選定イメージを図2に示す。

(1) 指標運転の選定工程

工程1: 省エネ運転に関するデータの集計

指標運転の候補として、駅間毎に約1000列車分の運転データを取得し、列車毎に省エネ運転に関する特徴量（列車加速時に消費する力行電力量、列車減速時に他の列車等に供給する回生電力量、乗車率、運転時分など）を集計する。

工程2: 運転状況の分析・絞り込み

駅間毎に運転時分、乗車率のヒストグラムを作成する。普段から良く運転されている一般的な運転状況における指標運転を選定するため、分布の多い運転時分・乗車率の条件で指標運転の絞り込みを行う。

工程3: 指標運転の候補を抽出

工程2で絞り込んだ運転状況から更に消費電力量※の少ない運転を複数抽出する。

※消費電力量=力行電力量-回生電力量とする。空調装置等で消費される補機電力量は含んでいない。

工程4: 指標運転の決定

多くの乗務員が再現しやすい指標運転を選定するため、工程3で絞り込んだ指標運転の候補について、乗務員が運転曲線および運転操作を1つずつ確認しながら、最終的に1つの指標運転を決定する。

(2) 指標運転の特徴

図3の灰色線は前述の工程2の運転状況の絞り込みを行った後の運転実績を示しており、黒線は指標運転を示している。運転実績（灰色線）は概ね同一の運転時分の条件（67～70秒）により抽出しているが、駅間の最高速度は約60～85km/hまで様々な運転実績が存在している。指標運転（黒線）は、最高速度を60km/h程度として加速を最小限に抑えることで、力行電力量の低減を実現している。

一方、そのままでは運転ダイヤで定められた運転時分を守れないため、駅停止時のブレーキ操作のタイミングを比較的遅めにし、高減速度のブレーキで停止することにより、運転時分の回復を図っている。このように加速を最小限に抑えて力行電力量を削減し、遅れた運転時分をブレーキで回復する方法は省エネ運転の例として過去の研究でも報告されている¹⁾。

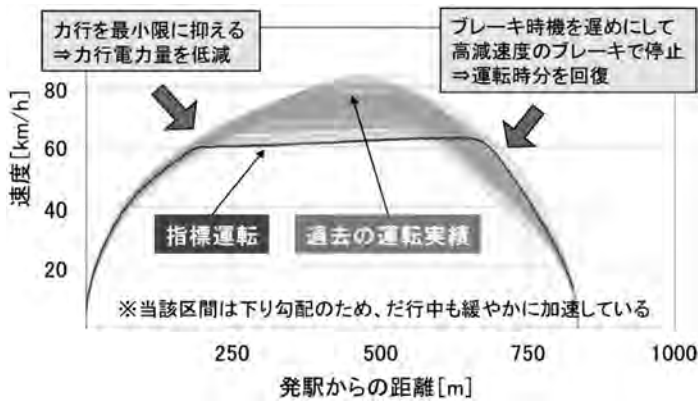


図3 指標運転の特徴

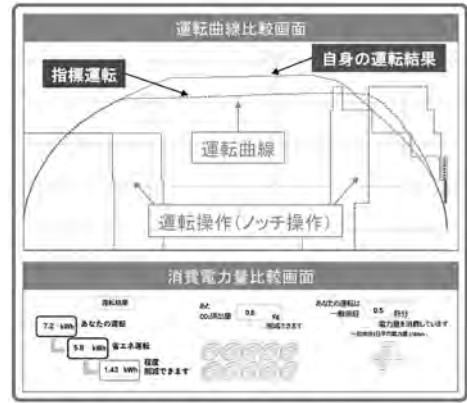


図4 運転結果振り返り機能のイメージ

2・2 省エネ運転振り返り機能

機能イメージを図4に示す。指標運転と自身の運転結果の運転曲線や消費電力量を比較できる機能である。運転結果が見える化され、省エネ運転の評価や運転操作の改善に活用可能となった。表示画面については、消費電力量に馴染みのない乗務員への情報提供に主眼を置き、CO₂削減量や一般家庭消費電力量としてアイコンで示すなど、視覚的にも分かりやすい工夫を施した。

3. 省エネ運転の試行

山手線内・外回りの全60駅間で指標運転を抽出した後、指標運転の再現性および実際の省エネ効果を確認するため、2020年度に営業列車において検証を行った。

3・1 省エネ効果の算出方法

以下に、省エネ効果の算出方法を示す。図5に示すとおり、消費電力量は運転時分の影響を受けやすいことから、運転時分に対する消費電力量を相対的に評価した。

駅間の省エネ効果 (R) は、式 (1) に示すように、省エネ運転試行時の消費電力量 (E) と省エネ運転試行時の運転時分 (t) における目安の消費電力量 (Et) から算出する。比較対象となる目安の消費電力量 (Et) は過去の運転実績 (指標運転の候補として取得した約1000列車分の運転データ) を運転時分-消費電力量の散布図にプロットした際に得られる線形近似直線を用いて算出した。なお、乗車率の違いによる車両重量の変動を考慮して、乗車率0%の値となるように補正を行った消費電力量を用いて省エネ効果を算出した。

$$R = \frac{\sum_{t=1}^n (Et - E)}{\sum_{t=1}^n Et} \times 100 \tag{1}$$

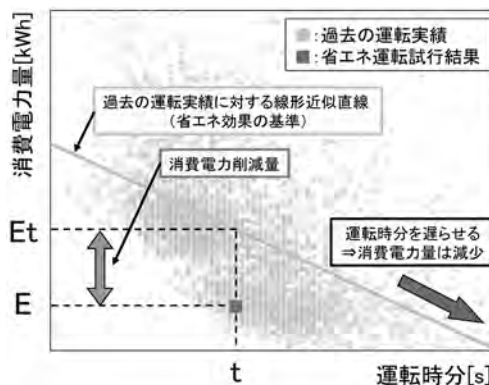


図5 省エネ効果の算出イメージ

3・2 目白駅～高田馬場駅の結果

図6に分析例として、目白駅～高田馬場駅の消費電力量の分布を示す。図中の△は本研究で開発した省エネ運転支援ツールを基に選定した指標運転の結果を示している。また、図中の■は△(指標運転)を目指して営業列車で試行した結果を示している。■(試行運転)が線形近似直線(省エネ効果の基準線)の下に位置する場合は省エネ効果が得られており、反対に上に位置する場合は省エネ効果が得られなかったと考える。当該区間では、■(試行運転)が全て線形近似直線(省エネ効果の基準線)の下に位置していることから、試行した全ての運転で省エネ効果を確認できた。また、■(試行運転)が△(指標運転)の周辺に位置していることから、指標運転のとおり運転の再現が可能であることが検証でき、指標運転の有効性について確認できた。目白駅～高田馬場駅では、目安の消費電力量(Et)に対して平均2.9kWh、38.2%の省エネ効果を確認した。

3・3 山手線全体の結果

山手線1周の省エネ運転試行結果を図7に示す。山手線の内回り全30駅間、外回り全30駅間で省エネ運転を試行した結果、内回り1周あたり平均49.6kWhの消費電力削減量、15.9%の省エネ効果、外回り1周あたり平均35.6kWhの消費電力削減量、11.4%の省エネ効果を確認した。1駅間あたりでは、平均0.2～4.9kWhの消費電力削減量となり、内回り、外回り共に全ての駅間で省エネ効果を得ることができた。

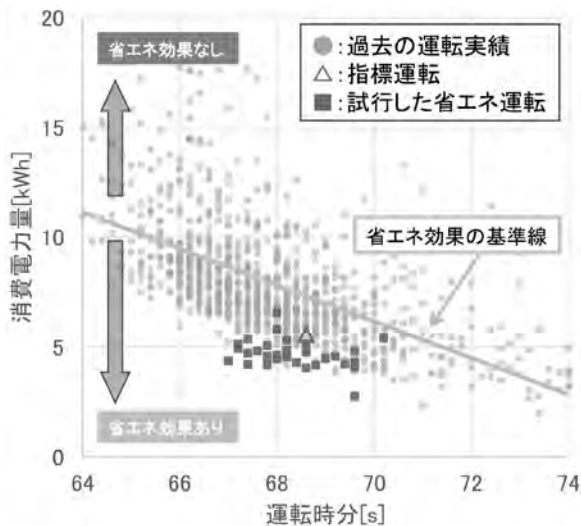


図6 目白駅～高田馬場駅の消費電力量の分布

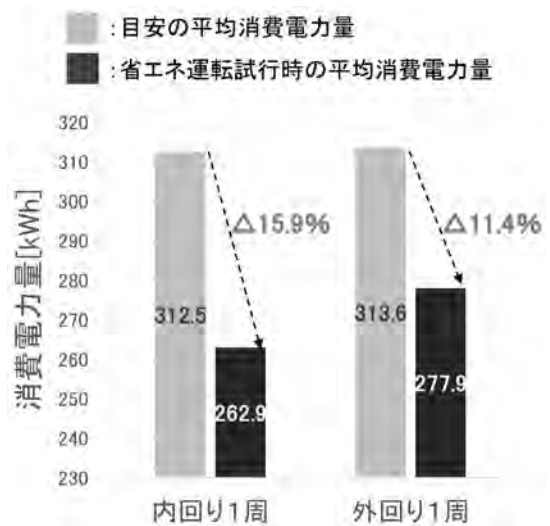


図7 山手線1周の省エネ運転試行結果

4. 結言

省エネ運転を目指す乗務員のサポートを目的として、車両モニタリングデータを活用した省エネ運転支援ツールを開発した。「手本とする省エネ運転の見える化」および「自身の省エネ運転結果の見える化」により、乗務員が省エネ運転に取り組める環境を整えることができた。また、営業列車における省エネ運転の試行により、山手線1周あたり平均11.4～15.9%の省エネ効果を確認し、開発したツールおよび指標運転の有効性を示すことができた。

今後は、省エネ運転の更なる展開を目指し、全乗務員が取り組むための課題を抽出していくと共に、将来の自動運転への展開も視野に入れた開発を進める。

参考文献

- 1) 野村悠二、飯田隆幸、省エネ運転操作による運転エネルギーの低減、J-RAIL2019(2019)