

省エネ運転支援装置を用いた走行試験



磯 峻介*¹



豊永 師大*²

Overview of Trial Run with an Energy-Saving Driving Support Device

Shunsuke ISO*¹, Norihiro TOYONAGA*²

*¹ Assistant Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR East Group

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

Abstract

There has been increasing interest in energy-saving driving by train drivers. However, on suburban lines with long distances between stations and varying travel times between trains, implementing energy-saving driving is challenging. Therefore, we developed an energy-saving driving support device that mathematically generates optimized speed profiles and assists drivers in accelerating and constant speed control following to the energy-saving driving pattern. A trial run conducted on the Utsunomiya Line in January 2024 resulted in approximately 3% reduction in power consumption.

●**Keywords:** Energy-saving, Driving pattern, Energy consumption, Driving operation, ATO

*¹JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 副主幹研究員

*²JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 主幹研究員

1. 緒言

JR東日本グループでは、ゼロカーボン・チャレンジ2050を掲げ、2030年度にグループ全体のCO₂排出量を50%削減（2013年度比）することをめざしている。鉄道は環境に優しい輸送機関と言われるものの、図1に示すように、当社では年間47.4億 kWhのエネルギーを使用しており、列車運転用エネルギーが38.3億 kWhと約8割を占めている。そのため、列車運転用エネルギー削減に向けたさまざまな取組みを実施している。

JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニットでは、乗務員による省エネ運転の取組みを推進するために、車両から取得したデータを可視化して、乗務員に運転操作や省エネ効果をフィードバックする研究を推進してきた。しかし、駅間距離が長く列車ごとに運転時分が異なる近郊線区では省エネ運転の再現性に課題がある。そこで、数理的に省エネなランカーブを生成し、乗務員がそれに沿った運転ができるよう力行・速度維持を支援する省エネ運転支援装置を開発した。

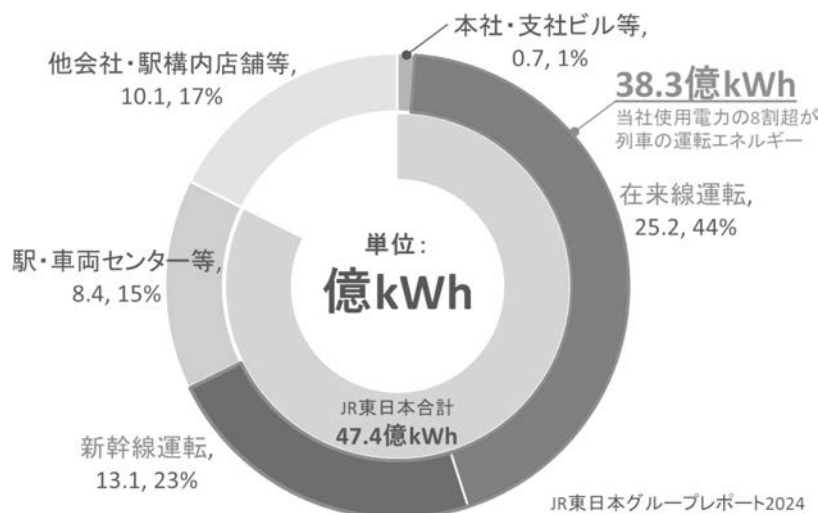


図1 JR東日本におけるエネルギー消費内訳

2. 省エネ運転支援装置の概要とシステム構成

省エネ運転支援装置は、線路条件やダイヤ情報をもとに自動で省エネランカーブを作成し、そのランカーブに沿った乗務員の運転操作を支援する車上装置である。定位置停止などのために地上設備を追加する必要がない車上完結のシステムであることも特徴である。本装置は、編成両数や車両キロが長い、つまり運転エネルギーが大きい線区や車種において高い効果が期待できる。

省エネ運転支援機能のイメージを図2に示す。乗務員は、駅発車時にハンドルを最大力行位置に保持かつ支援開始スイッチを押下すると運転支援機能が有効となり、ブレーキ扱いを含む、それ以外のハンドル操作が入ると省エネ運転支援は停止する。言い換えれば、乗務員の判断で最大力行位置以外にハンドル操作することにより支援を中断できることが安全上の前提である。

省エネ運転支援装置は、あらかじめデータとして保持する車両性能、線路形状、行路カードから得た列車ダイヤから、省エネランカーブを生成し、それに沿った運転ができるよう力行と速度維持に係る制御を自動的に行う。最大力行の保持が切れると支援は中断されるため、制限区間進入や駅停車のブレーキ操作は従来通り手動で運転することになる。次駅停車まで力行が不要な地点、すなわち惰行とブレーキ操作のみで次駅に定時到着できる地点に到達した場合、手動運転への切り替えを促すため、運転台モニタ画面の表示とチャイム鳴動により乗務員に通知する。運転台モニタ画面には、手動切り替え時機のほかに、運転支援中の目標速度や省エネ運転支援装置が出力する加減速指令などの状態も表示する。

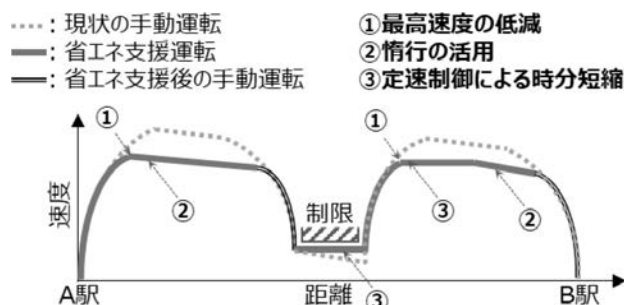


図2 省エネ運転支援機能のイメージ

図3に省エネ運転支援装置の状態遷移を示す。省エネ運転支援装置は「非支援」「支援スタンバイ」「運転支援」の3つのいずれかの状態を取る。電源投入直後の初期状態は「非支援」である。その後、運転支援が可能となる条件が全て成立し、次駅までの省エネランカーブの生成が完了すると「支援スタンバイ」となる。具体的には、力行中に、列車番号、次駅到着時刻、駅コードなどの必要な情報が揃い、省エネランカーブの生成が完了すると、支援スタンバイ状態に移行する。この際にチャイムを鳴動し、省エネランカーブが生成されたことを乗務員に通知する。さらに、乗務員がハンドルを最大力行に操作後、支援開始スイッチを押下することで、省エネ運転支援装置が省エネランカーブに沿って出力トルクを制御する「運転支援」となる。手動操作優先とフェールセーフを考慮し、運転支援中にノッチオフ操作をした場合や、保安装置動作、走行中ドア開などの異常が発生した場合はただちに「非支援」に遷移する。非支援になった条件が解消し、再び力行投入（運転支援が可能となる条件成立）された時点で新たにランカーブを生成し、再度「支援スタンバイ」となる。

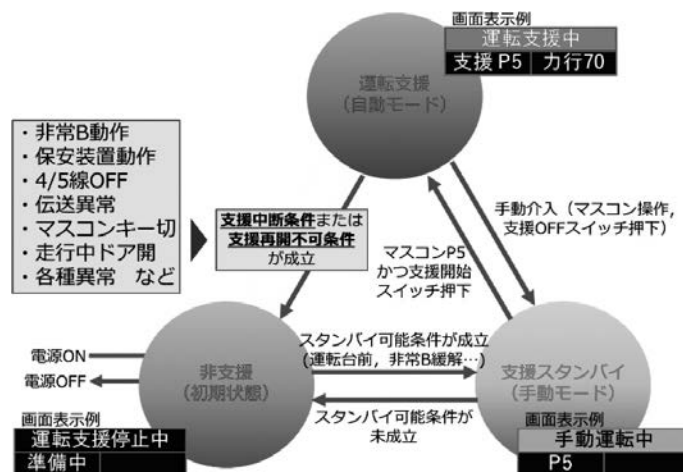
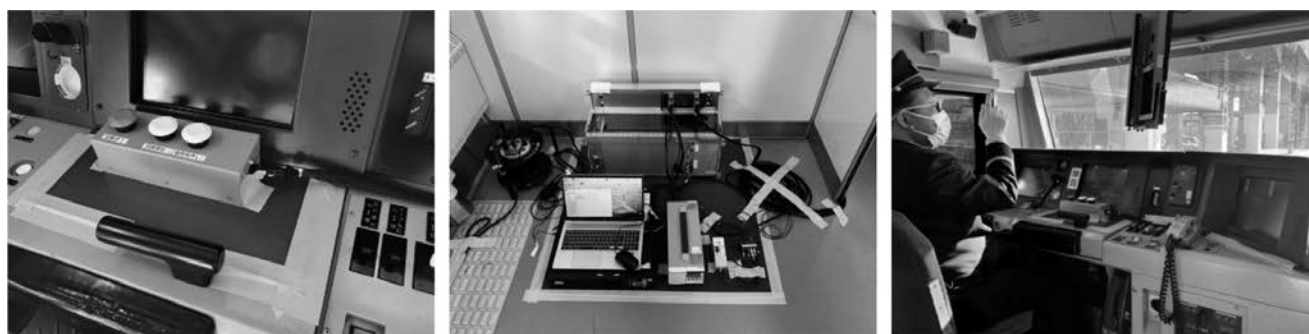


図3 省エネ運転支援装置の状態遷移

省エネ運転支援中から手動運転への移行時には、省エネ運転支援装置からの運転制御指令はオフ（惰行）となり、チャイム連続鳴動および運転台モニタ画面に「手動運転中」を表示し、乗務員にハンドル操作を促す。このとき、乗務員のハンドル操作により最大力行位置から外れると、チャイム鳴動は停止する。同時に、運転支援をするための条件の一つである最大力行位置の条件も外れるため、省エネ運転支援装置による支援運転が終了し、手動運転に切り替わる。

3. 宇都宮線における省エネ運転支援装置の走行試験

省エネ運転支援装置の性能を評価するための走行試験を2024年1月に実施した。走行試験は、首都圏本部小山車両センター所属のE233系10両編成を用いて、宇都宮線の大宮～宇都宮間で実施した。車両には、両先頭車の運転台に省エネ運転支援装置本体と付帯するスイッチ類、測定機器の仮設を行い、上り列車／下り列車ともに測定を可能とした。図4に仮設および本線走行の様子を示す。仮設のほか、運転台画面表示などの変更を行うために列車情報管理装置のソフトウェアも変更している。走行方法は、比較評価のため省エネ運転支援装置を用いた運転と手動運転をそれぞれ行った。



運転台周辺の仮設

客室内の仮設

本線走行の様子

図4 仮設および本線走行の様子

図5に上下線別の走行試験における消費電力量の測定結果を示す。ダイヤ設定の都合上、折返しの大宮駅と宇都宮駅では、通常使用しない番線の着発となるため、同区間を除いた土呂～雀宮の15駅間で省エネ効果を試算する。図5より、下り（土呂→雀宮）では15区間中10区間で省エネ効果を確認し、支援運転は手動運転に比べて3.8%の消費電力量の削減を確認した。また、上り（雀宮→土呂）では15区間中9区間で省エネ効果を確認し、支援運転は手動運転に比べて2.2%の消費電力量の削減を確認した。上下線とも、全体の約3分の2の区間で省エネ効果が確認できたが、一部の区間では手動運転の方が消費電力量の低い区間もあった。主要因として、ダイヤ設定上の運転時分が短いため、最高速度を抑制できなかった点が挙げられる。同区間では、線区最高速度付近まで速度を向上しないと遅延してしまうため、乗務員による手動運転と省エネ運転支援装置によるランカーブは最速走行のパターンに類似する。また、省エネ運転支援装置は線区最高速度や制限速度を超過しないために速度に対して一定のマージンを持たせた範囲内で走行する。そのため、手動運転より制約が厳しくなるため、省エネ効果が出ない状況が発生したものと考えられる。省エネ運転支援装置は駅発車から次駅停車までの全ての加減速を制御するものではないことから、乗務員の個人差や運転時分の差によっても消費電力量が変動する。こうした変動も考慮すると、大宮～宇都宮間における省エネ効果は約2～3%程度であると考えられる。省エネ運転支援装置の省エネ効果は、余裕時分、線路形状、乗務員の運転方法などによる影響でばらつきが生じるため、省エネ効果が高くなる走行条件などについて引き続き検証を深度化したい。



図5 上下線別の走行試験における消費電力量の測定結果

4. 実用化に向けた課題

4・1 ブレーキ減速度について

省エネ運転支援装置は、駅停車時にブレーキ4段の減速度で制動する前提でランカーブを生成し、走行時分を計算する。乗務員へのヒアリングや運転データの分析によると、乗務員は駅停車時にブレーキ4段または5段を扱うケースが多かった。本研究では弱めのブレーキを扱う乗務員が省エネ運転支援装置を用いた運転をした場合でも違和感なく操作でき、かつ遅延しないことを考慮した結果、減速度をブレーキ4段としている。一方で、普段からブレーキ3段以下でブレーキ扱いをする乗務員は、現状の省エネ運転支援装置が生成するランカーブでは、列車遅延につながる可能性がある。強いブレーキを前提としてランカーブ生成すると走行時分に余裕が出来るため省エネ効果が高くなるが、本研究では乗り心地や安定輸送の観点、多くの乗務員が違和感なく操作できることを考慮してブレーキ4段を採用した。線区や車種によっても乗務員が標準的に用いるブレーキ段数は異なるため、線区条件を考慮し、設計時に減速度を慎重に決定するか、乗務員の操作によって走行時分の計算に用いる減速度を切り替えられる仕様などの検討が必要である。

4・2 乗務員心理を考慮した走行について

制限速度が段階的に向上する区間における加速制御についても課題がある。例えば、85 km/h制限から95 km/h制限といったように段階的に制限速度が向上する場合である。このような区間で、手動運転では85 km/h制限手前でノッチオフし、95 km/hに制限速度が向上してから再力行することが一般的である。しかしながら、省エネ運転支援装置は連続的に省エネ運転支援を行うため、短距離でもノッチオフせずに定速制御を用いる傾向があり、この場合85 km/h制限付近の速度で定速走行し、95 km/h制限に向上した地点から再力行するランカーブを生成する。このように、短距離で定速制御が入る運転に対して乗務員は違和感を覚えることが多く、本線走行試験でも省エネ運転支援装置から支援終了を通知する前のノッチオフ（手動介入）により省エネ運転支援が中断する場面があった。乗務員の操作が優先される論理は仕様通りに機能しているが、省エネ運転支援装置が定速制御を想定した区間でノッチオフすることにより現車速度が低下し、次駅に遅着する可能性がある。本課題に対しては、次項で述べるボタンレス方式などの方法により、乗務員が運転支援のオン／オフを意識しなくても普段通りの運転操作をする中で省エネ運転支援をするという考え方が有効になると考える。

4・3 運転支援をボタンレスで実施する方法について

今回開発した省エネ運転支援装置は、運転支援の開始および手動復帰の都度、乗務員の操作を伴う仕様となっている。そのため、運転支援のオン／オフの状態認識や、支援開始／終了について乗務員が操作に戸惑う場面が見られた。また、車両に新たなスイッチ類を装備すると、規程類の改正が必要となる場合もある。省エネ運転支援装置は、乗務員による省エネ運転を支援する装置という位置づけであり、その取扱いのために乗務員の負担が増加することは好ましくない。さらに、乗務員判断で支援開始操作をする方法では、省エネ運転支援装置の使用割合が低下する懸念がある。乗務員が支援装置の存在を意識せずに省エネな運転ができるように、普段通り運転操作をする中で、最大力行投入などの支援可能条件が成立した時に自動的に運転支援が動作するボタンレス方式など、マンマシンインタフェースの改善が課題である。

5. 結言

乗務員の運転操作による省エネ運転を拡大するにあたり、駅間距離が短い線区では運転を一意に定めて取組みやすいが、駅間距離が長く、列車ごとに運転時分が異なる近郊線区では運転操作が複雑となり取組み難い。本研究では、このような近郊線区を対象として、線路形状、車両性能、列車ダイヤから省エネランカーブを生成し、それに沿った乗務員の力行操作を支援する装置を開発した。力行制御を半自動化することで、複雑な運転を覚えることなく省エネ運転を実現できることを目論んでいる。2024年1月に宇都宮線で走行試験を実施し約3%の省エネ効果を測定したが、省エネランカーブに対する現車速度の追従や、乗務員による支援開始／終了操作に伴う運転の違和感が課題として確認できた。今後、これらを改善するとともに装置の小型化に関する研究を進め、上野東京ライン／湘南新宿ラインへの導入をめざしていきたい。