

省エネルギー運転を支援する



小川 知行
Tomoyuki Ogawa
車両技術研究部
水素・エネルギー研究室
主任研究員



横内 俊秀
Toshihide Yokouchi
前 車両技術研究部
駆動システム研究室
研究員



齋藤 達仁
Tatsuhito Saito
車両技術研究部
水素・エネルギー研究室
研究員

はじめに

列車の消費エネルギーは、同じ区間を走行しても運転の仕方によって変わってきます。このため、運転の仕方を工夫する省エネルギー（以下、省エネ）運転の取り組みがさまざまなところで行われています¹⁾²⁾。省エネ運転を行うためには、運転の無駄を省く必要があります。

本記事では、省エネ運転となる方法についての理論的な検討や、省エネ運転を実践しやすくするため運転支援システムの開発、それを使用

したときの省エネ効果の確認について紹介します。

省エネ運転となる方法を検討する 走行抵抗

列車の走行抵抗は、エネルギー消費の多くを占めます。走行抵抗は機械抵抗と空気抵抗に分けられ、数式としては速度の2乗の関数として表されると考えられています（図1）。このため、走行時間を気にしなければ、低い速度で走った

図1 走行抵抗特性の例

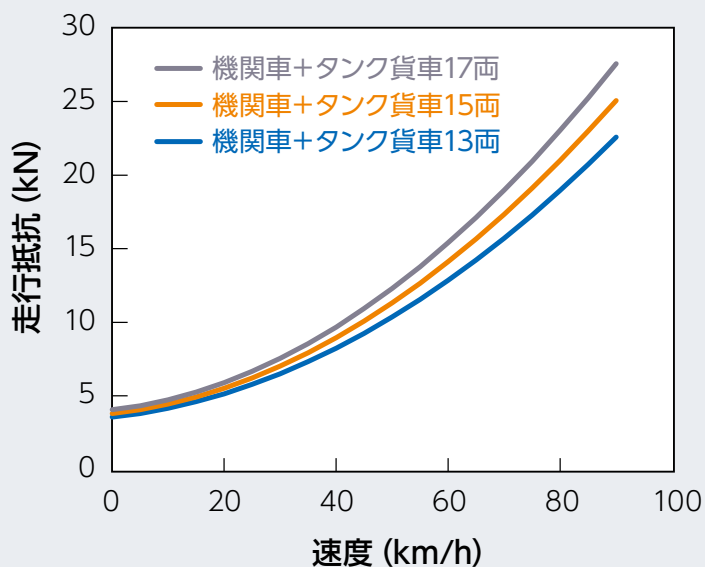
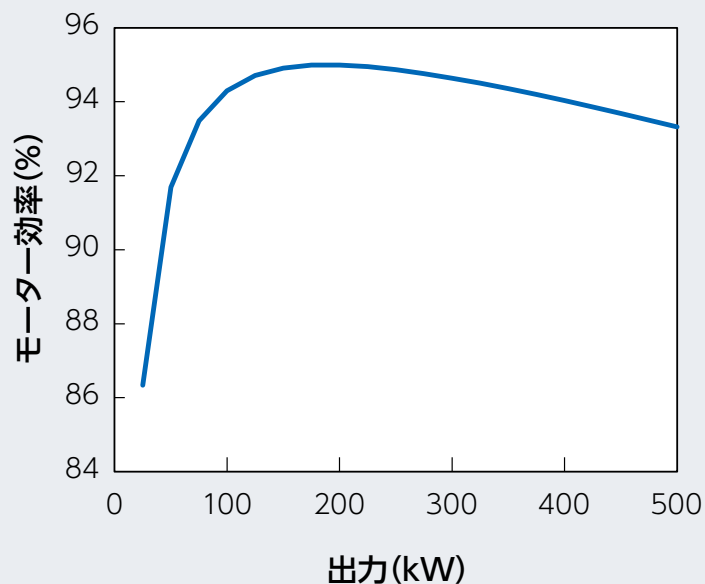


図2 モーター効率特性の例



方が走行抵抗による損失が少なく、省エネになると言えます。とはいえ、鉄道の使命は、人や物をなるべく早く届けることですから、速度を落とせば良いというわけではなく、無駄に速く走らないことが省エネとして重要ということになります。

モーター効率

電車や電気機関車では、モーターの損失も無視できず、使用する出力によってモーターの効率は大きく変わってくることから(図2)、省エネ運転のためには重要な検討要素となります。モーターの出力が小さくても、大きくても効率が低下して、無駄が発生すると考えられます。このため、列車の編成構成や速度に応じて、効率の良い動作点でモーターを使用することが省エネ運転には重要となります。

のこぎり運転と定速運転の比較

駅の発車や到着時を除いて、駅間を走行する場合の運転方法としては、のこぎり運転と定速運転^④とよばれる2つの運転方法が考えられます(図3)。のこぎり運転は、大きなモーター出力で力行^⑤して加速させた後に惰行することを

繰り返す運転方法です。定速運転は、一定速度に保つようにモーター出力を自動調整して運転する運転方法です。

この2つの運転方法について省エネ運転の観点で理論的に優劣を考えてみます。のこぎり運転は、速度が一定ではないため、速度が高いときに走行抵抗による損失が大きくなります。速度が低いときに走行抵抗による損失が小さくなることも含めて考えても、一定速度で走行する場合に比べて、走行抵抗の観点ではのこぎり運転は不利になります。一方で、定速運転は、モーターの出力が小さい領域で使用されるためモーター効率が低くなるが多くなります。ただ

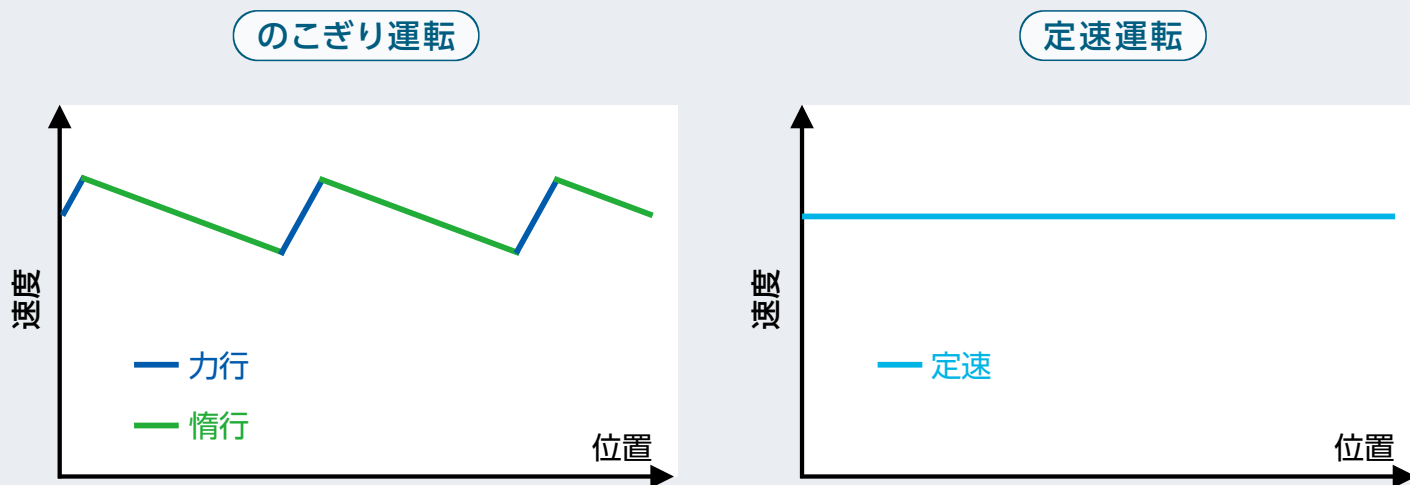
④ 定速運転

主回路の定速運転機能を使って、一定速度に保つようにモーターからの力を自動調整して運転する運転方法です。定速運転も力行運転に含めて考えることもできますが、本記事では、力行運転と定速運転は区別して扱います。

⑤ 力行運転

列車を加速させるために、モーターやエンジンから力を出している状態を力行といいます。

図3 のこぎり運転と定速運転の概念図



のこぎり運転の省エネ効果(%)

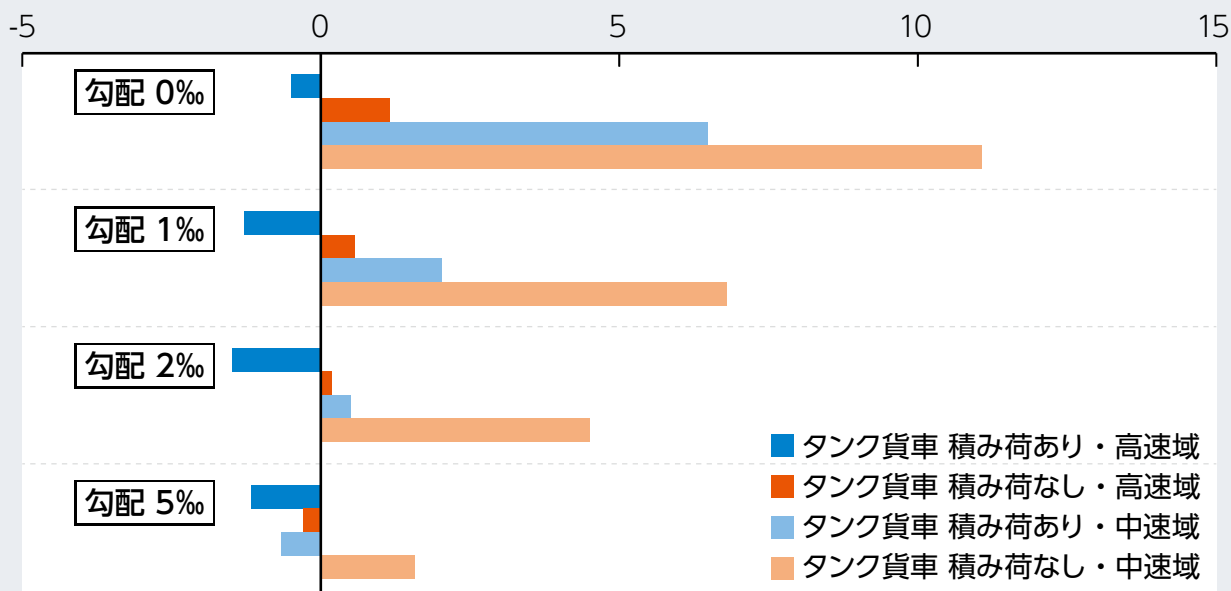


図4 のこぎり運転と定速運転の消費エネルギー比較

し、定速運転をしているときのモーターの出力は、走行している区間の勾配や編成の質量などによって異なります。このため、条件によって、定速運転とのこぎり運転のどちらが省エネになるのかは、計算してみないとわからないということになります。

のこぎり運転と定速運転の消費エネルギーを比較してみた事例を紹介します(図4)。定速運転を基準にして、のこぎり運転をした場合の消費エネルギーを比較しています。プラスになると、のこぎり運転が優位になり、マイナスになると、定速運転が優位になります。ここに示すように、省エネ運転のためには、勾配と速度や編成の質量といった条件によって、のこぎり運転と定速運転を使い分けることが良いと考えられます。

省エネ運転を支援する

運転支援の仕組み

貨物列車を対象に、省エネ運転や定時運転を支援する運転支援システムを開発しました。鉄道総研では、前身となる旧国鉄の鉄道技術研究所の時代より**運転曲線**^⑤作成システムの開発

に取り組んできました³⁾。その技術を活用して、列車の走行中にリアルタイムに運転曲線を予測するシミュレーションを実施することで、省エネ性や定時性の観点で優れた運転方法を提案するシステムを開発しました。

開発したシステムは、いくつかの運転パターンを定めて、そのときの運転曲線を予測します(図5)。具体的には、力行運転と定速運転と**惰行運転**^⑥といった運転方法のうちどれを使用するか、また、それらの運転方法をどの地点もしくはどの速度で切り替えるかなどといった条件を定め、それらの運転パターンに従った場合の速度の推移を予測します。こうして得られた

⑤ 運転曲線

運転曲線は、列車の運転扱いに応じた各地点の速度を示すもので、横軸を距離、縦軸を速度で表すグラフです。力行(青色)、定速(水色)、惰行(緑色)、ブレーキ(赤色)の運転状態に合わせて色分けして表示することが多くあります。これにより、列車が各地点を走行する際の運転状態や速度がわかりやすく示されます。

⑥ 惰行運転

力行もブレーキもせずに、惰性で走行している状態を惰行といいます。

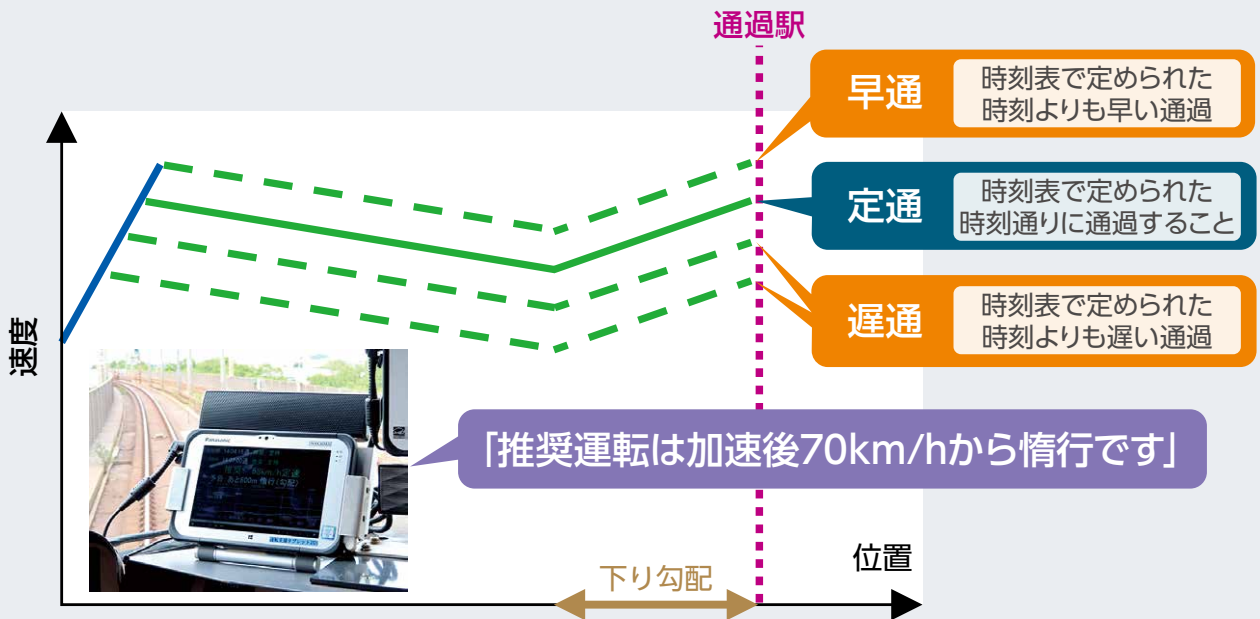


図5 運転曲線予測のイメージ

運転曲線の候補の中から駅の通過時刻が定時に近い運転方法を推奨運転としてリアルタイムに運転士に提示します。推奨運転が求まると運転支援システムは、現在地点での推奨される運転方法と、駅通過時刻の予測を運転士に提示します(図6)。

省エネのための運転支援

前述のように、省エネ運転のためには、勾配と速度や編成の質量などの条件によって、のこぎり運転と定速運転を使い分けた方が望ましいですが、その条件が多岐にわたるため、運転中に運転士が判断するのは困難です。そこで、運転曲線予測の際に、のこぎり運転と定速運転のそれぞれの運転方法を試してみても、消費エネルギーが少ないと見込まれる運転方法を選定することで、省エネとすることが期待されます(図7)。

図6 運転支援システムの画面例

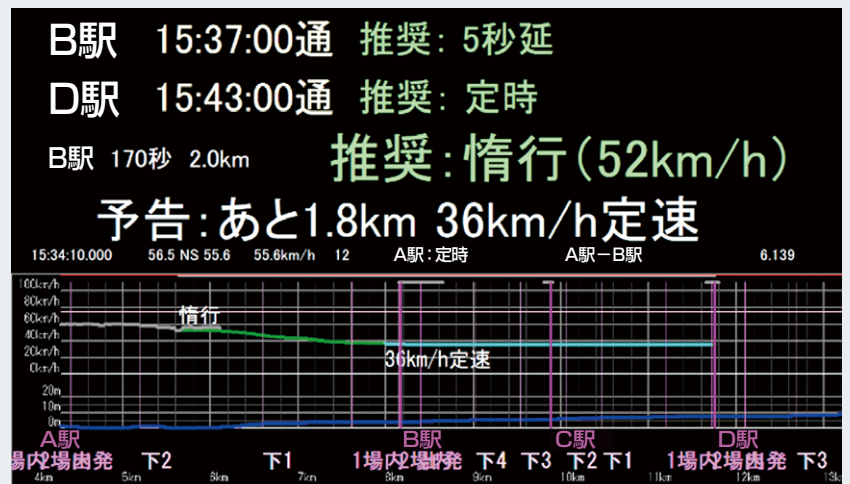
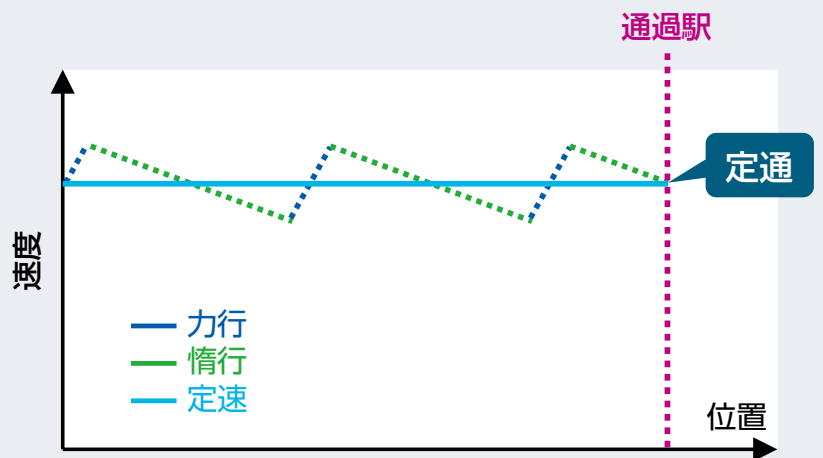


図7 のこぎり運転と定速運転の運転曲線予測



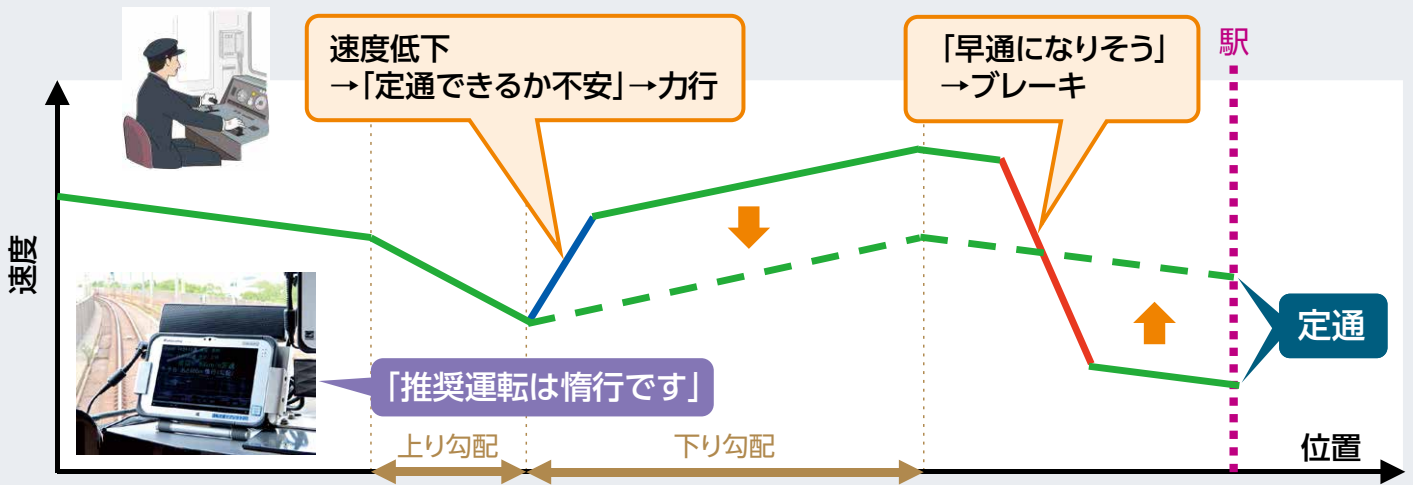


図8 不要な加減速削減のイメージ

図9 運転支援システムの設置例



図10 評価対象列車の例



さらに、運転支援システムは不要な加減速を削減するといった効果も期待されます。運転士には、列車を遅らせたくないという心理が働きますから、例えば、上り勾配で速度が低下するような場面では、力行して加速させたくなくなります(図8)。力行しなくても、定時通過できるのであれば、その情報を提示することで、不要な加減速の削減が期待されます。

省エネ運転の結果を評価する 省エネ効果の算出

運転支援システムを実際に使用し、その効果を確認しました(図9, 図10)。省エネ運転の評価のために、運転支援システムの使用有無の両方について走行データを取得して消費エネルギーを比較しました。走行する区間によって、省エネ効果は異なってきますが、4~14%程度の省エネ効果が確認されました(図11)。

省エネ要因の分析

運転支援システムを用いると省エネとなることが確認されましたが、その要因を分析するために、運転時間を比較してみた事例を紹介します(図12)。運転支援システムを使用することで、力行運転や定速運転が減って、惰行時間が増えていることが確認できます。今回の比較に使用した列車は比較的速度が低い走行が多かったため、定速運転に比べてのこぎり運転の方がモーター効率の高くなる条件が多かったと考えています。このため、モーター効率が低くなる定速運転が減ったり、不要な加減速が減ったりして消費エネルギーが低減したと考えられます。

おわりに

省エネとなる運転方法を理論的に検討したうえで、省エネ運転を実践しやすくするために運転支援していく取り組みについて紹介しました。省エネ運転の実施に当たっては、理論的な検討と、実践的な検討の両方が必要になります。鉄道総研では、引き続き、さまざまな技術分野に取り組んでいる総合力を生かして、その両方に取り組んでいきたいと考えています。RRR

単位編成質量当たりの消費電力量(Wh/t)

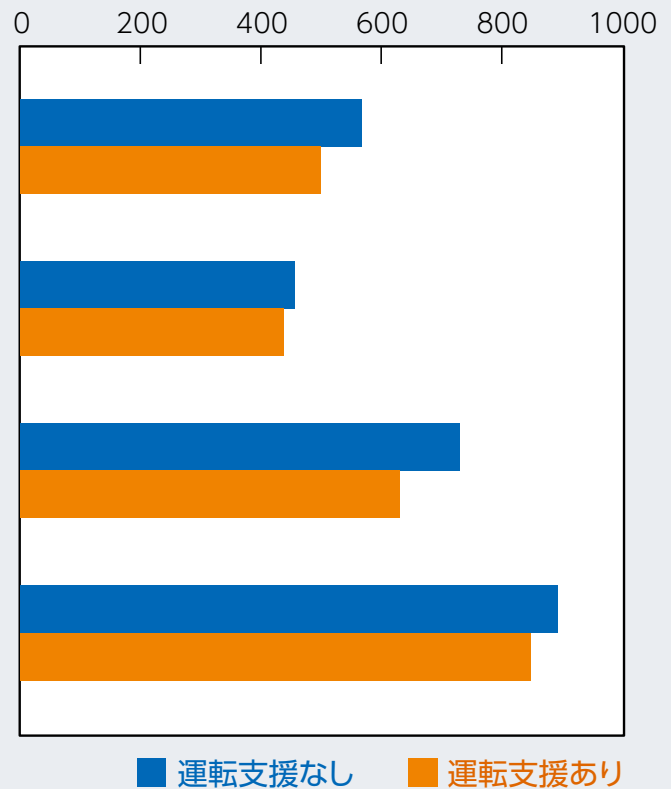


図11 運転支援システムの使用有無による消費エネルギー比較

運転時間(分)

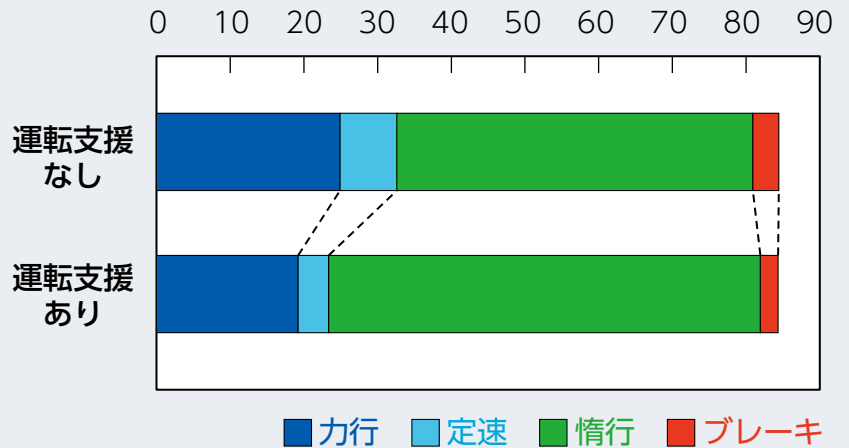


図12 運転支援システムの使用有無による運転時間比較(区間A)

文献

- 1) 柴田悠介, 磯峻介, 飯田隆幸: 省エネ運転支援ツールの開発, JR EAST Technical Review, No.69, pp.14-17, 2022
- 2) 杉田憲亮: 省エネ運転に対する運転曲線作成システム(SPEEDY)の活用, RRR, Vol.69, No.2, pp.32, 2012
- 3) 田中峻一: 運転曲線作成技術とその応用, RRR, Vol.71, No.12, pp.32, 2014