

# 運転曲線予測による貨物列車向け運転支援システムの省エネ効果検証

小川 知行\* 横内 俊秀 齋藤 達仁 (鉄道総合技術研究所)

Energy-saving Effect Verification of Driver Advisory System using Speed Estimation for Freight Railway  
Tomoyuki Ogawa \*, Toshihide Yokouchi, Tatsuhiro Saito (Railway Technical Research Institute)

We have developed a driver advisory system using speed estimation for freight railway aiming at energy-saving and punctuality. The driver advisory system proposes a recommended driving operation for passage station. This paper presents a trial result focusing energy consumption. We confirm an energy-saving effect comparing the energy consumption using or not using the driver advisory system.

キーワード：消費エネルギー，定速運転，のこぎり運転，モータ効率  
(Energy consumption, Constant-speed driving operation, Saw-toothed driving operation, Motor efficiency)

## 1. はじめに

鉄道車両の運転士を対象として、運転品質の向上を目指した運転支援システムが各種開発されているが、予め定められた地点や速度に応じた支援内容とするものが一般的である。運転支援システムに運転曲線を予測するシミュレーションを組み込むことで、運転状況に応じた高度な運転支援が可能となる。そこで、運転曲線予測シミュレーションを組み込んだ貨物列車向けの運転支援システムを開発した。

貨物列車は、旅客列車の運行時間帯の走行においては駅間走行時分が長めに設定されることが多く、運転上の自由度が高くなるという特徴がある。そうした中で、貨物列車は、通過駅が主体であり、予め定められた時刻通りに各駅を通過することが求められる。そこで、本システムでは、運転士に対してタブレット端末により支援情報を提示して、定時運行を支援する。併せて、加減速操縦を抑制したり、車両効率の良い動作点での運転方法を提示したりすることで、消費エネルギーの少ない運転が期待できる。

本システムの基本的な構成については、文献(1)にて報告し、定時性に関する効果検証については、文献(2)にて報告しており、その後、走行試験の区間や規模を拡大して、運転支援システムの省エネ性に関する効果検証を行ったので報告する。

## 2. コンセプト

本システムのコンセプトは、計算能力に優れていると考えられる計算機と、総合的な判断能力に優れていると考えられる人間の能力を組み合わせることにより、定時性と省エネ性を向上させることである。運転曲線予測シミュレー

ションを行い、推奨される運転方法を実施した場合の駅の通過時刻を予測して運転士に提示することにより、定時性の向上を目指す。また、駅の通過時分の調整のための加減速操縦を抑制することや、省エネ運転に関する文献(3)を踏まえて車両効率の良い運転方法を提示することで省エネ性の向上を目指す。

なお、本システムは、運転操縦を指示する装置としての位置付けではなく、運転士に対して情報を与える装置という位置付けとすることで、運転支援内容の採否は運転士の判断に任せることとする。すなわち、運転支援システムが考慮できていない信号現示や天候等に対して臨機応変に対応したり、運転支援システムの提示内容を参考にしてより望ましい運転操縦に補正したりすることを運転士に期待する設計思想とする。このような位置付けとすることで、運転支援システムは車両の制御システムから独立して衛星測位システムからの信号のみで動作する簡便な機器構成とするとともに、要求される信頼度も低く設定することが可能となり、提案システムの普及性を高めることができる。

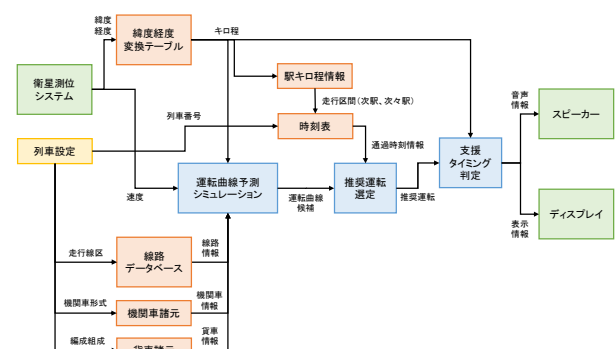


図1 運転支援システムのシステム概要<sup>(1)</sup>  
Fig. 1 Overview of driver advisory system.

3. システム構成

運転支援システムのシステム概要を図 1 に示す。運転曲線予測シミュレーションでは、衛星測位情報を用いて取得した地点及び速度に基づいて、運転支援タブレット内にてシミュレーションを実施する。複数の運転方法の候補に対して運転曲線予測シミュレーションを行い、その中から推奨運転を選定する。

4. 理論検討

定速運転と惰行運転を併用することが省エネ性の観点から有効であることが確認されている<sup>(3)</sup>。しかしながら、本走行試験の対象列車は、走行速度が低いとともに空車の条件

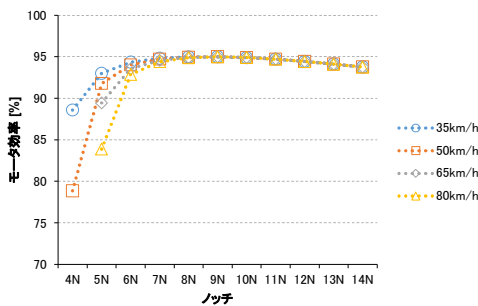
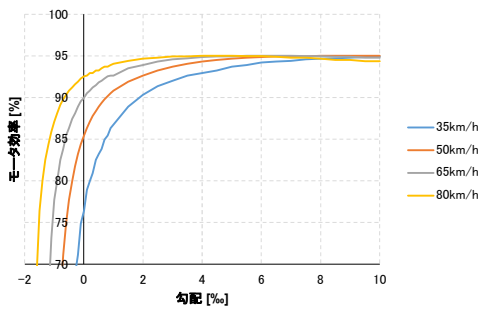
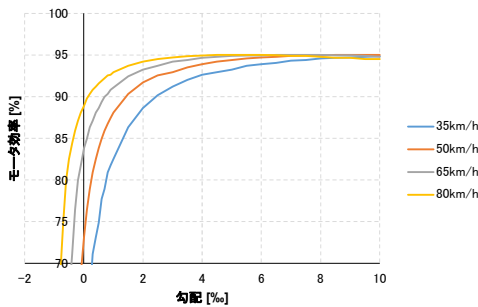


図 2 ノッチ毎のモータ効率特性  
Fig. 2 Motor efficiency for each powering notch.



(a) 積車 (貨車 16 両 960[t]時)  
(a) Full load (16 freight cars, 960[t])



(b) 空車 (貨車 16 両 280[t]時)  
(b) Empty (16 freight cars, 280[t])

図 3 定速運転時の効率特性

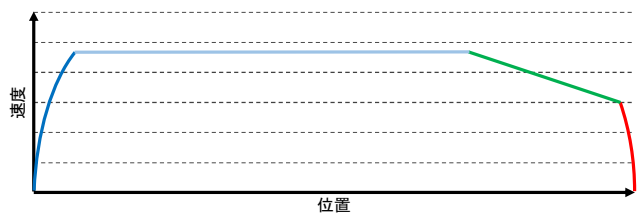
Fig. 3 Motor efficiency for constant-speed driving operation.

も含んでいる。モータ効率特性の推定結果を図 2 に示す。走行速度やノッチによってモータ効率は変動し、出力が小さいときには、モータ効率は低くなる。これを用いて計算した定速運転時の効率特性を計算した事例を図 3 に示す。定速運転によって速度を一定に保つために必要な出力、すなわち、列車抵抗分の出力を速度毎に計算し、その時のモータ効率を示している。走行速度が高く、けん引質量が大きい条件においては、定速運転と惰行運転を併用することで省エネが期待できるが、条件によっては定速運転を避けてのこぎり運転にすることが省エネの観点で有効と考えられる。

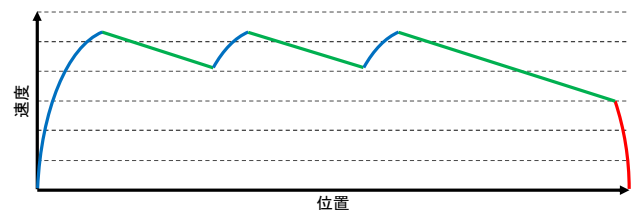
定速運転とのこぎり運転の概念図を図 4 に示す。定速運転で通過駅までの定時通過を支援するには、駅までの残りの距離と時間から速度を決定すれば良く、通過時刻に合わせた運転操縦がしやすい。一方、のこぎり運転は惰行時の速度の低下度合いにより所要時間が変わってくるため、定時通過のための速度を正確に計算するにはシミュレーションによる速度推移の計算が必要となる。このため、運転士による運転操縦でもシステムによる運転支援でも定速運転の方が、定時通過が容易と考えられる。一方で、前述のように定速運転時にはモータ効率が低い動作点となる可能性があるため、のこぎり運転を運転支援するように運転支援システムを改良した。

5. 走行試験

定速運転制御機能を有するインバータ制御の電気機関車が、タンク車をけん引する貨物列車を対象に走行試験を実施した。停車駅単位で分割して、積車の 2 区間と空車の 2 区間を評価の対象とした。なお、当該列車の最高速度は



(a) 定速運転  
(a) Constant-speed driving operation



(b) のこぎり運転  
(b) Saw-toothed driving operation

図 4 運転方法の概念図

Fig. 4 A conceptual figure of driving operation.

75[km/h]である。

走行試験では、運転台に運転支援システムを搭載して、支援内容を参考にして運転するように運転士に依頼した。運転支援システムの設置状況を図5に示す。また、運転支援システムを用いない場合の運転についてもデータを取得した。

走行試験により記録した運転支援画面の例を図6に示す。現在の推奨運転方法(図の例では惰行)と、その後の推奨運転方法(図の例では定速)と、次駅と次々駅の通過予測が表示される。なお、走行試験においては運転支援状況の検証のために、前方映像とともに運転支援システムの表示画



図5 運転支援システムの設置状況

Fig. 5 An installation situation of driver advisory system.

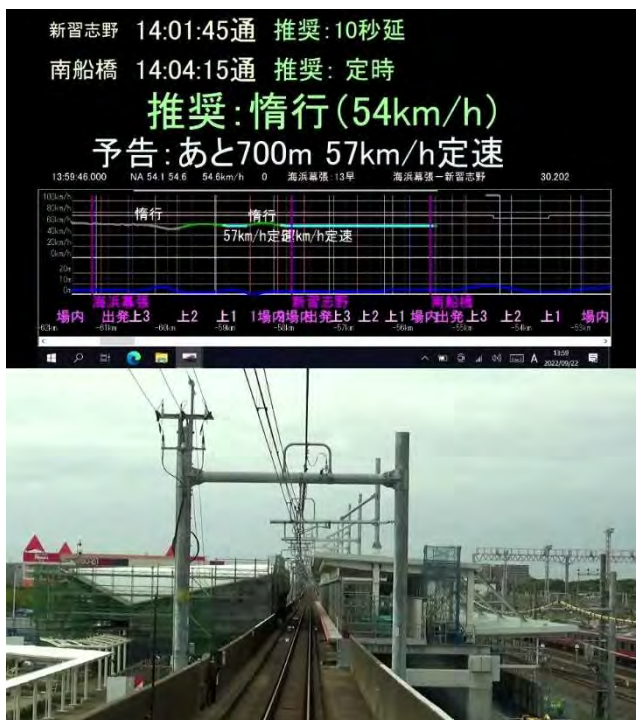


図6 運転支援画面の記録の例

Fig. 6 An example of driver advice display.

面を記録した。また、運転支援システムは、運転支援内容が変更となったタイミングでは音声により運転支援内容を通知する。

区間毎の走行試験の条件と結果を表1に示す。編成質量当たりの消費電力量(以下、消費エネルギー)の比較を図7、図8に示す。日によってけん引質量が異なるため、編成質量当たりにして比較することとした。また、けん引質量が極端に異なると質量に比例しない走行抵抗分の影響が大きくなり編成質量当たりでの比較も難しいため、積車で1034~1454[t]、空車で426~556[t]の範囲に限定した。併せて、通過駅毎に列車遅延を取得して最大遅延5分以上の列車については、比較の対象外とした。

図7に示すように、日々の消費エネルギーにはばらつきがある。図8に示すように、それぞれの平均値で比較すると、区間によってその効果は異なるが、運転支援システムを用いることにより、4.0~13.6[%]の省エネ効果が確認できる。

一例ではあるが、運転支援システムの有無による速度と電力の比較を図9に示す。運転支援なしの条件については、定速運転の使用の有無で2例を示している。消費エネルギーは、運転支援ありが481.1[Wh/t]、運転支援なし①(定速運転なし)が559.2[Wh/t]、運転支援なし②(定速運転あり)が601.0[Wh/t]である。運転支援システムを活用することにより、全般的に力行運転、定速運転及び制動運転が少なくなっていると考えられる。特に、14:13~14:39頃にかけては、運転支援システムを用いた場合には当該区間の大半を惰行運転で走行している。当該区間は、通過採時駅間が長く、勾配変化も多いため、運転士にとって通過時分の予測が難しく、運転支援システムの効果が発揮されやすい区間であると考えられる。また、運転支援ありと運転支援なし②と比較すると、定速運転を用いている運転支援なし②は消費電力が小さくなっている箇所が散見され、モータ効率の低い動作点で運転していることが確認できる。

消費エネルギーのばらつきについて区間別に注目すると、表1及び図7より、ばらつきの多い区間Aは、ばらつきの小さい区間Bに比べて省エネ効果が高くなっている。すなわち、消費エネルギーのばらつきの多い区間では、運転支援の効果が発揮されやすいものと推測される。

## 6. おわりに

運転曲線を予測する運転曲線予測シミュレーションを行うことで、推奨運転方法を提示する運転支援システムを開発し、その効果を検証した。この結果、運転支援システムにより、4.0~13.6[%]の省エネ効果が確認された。その要因としては、時分調整のための加減速操縦を抑制できたこと、モータ効率の良い点にて運転できたことが挙げられる。また、消費エネルギーのばらつきの多い区間で運転支援の効果が

発揮されやすいものと推測される結果が得られた。

今後は、検証する線区を増やして、線区条件の特徴に関わらず適切な運転支援が行えるように汎用性を向上していく予定である。

7. 謝辞

本開発にあたり、日本貨物鉄道株式会社の関係各位に多

表 1 区間毎の条件と結果  
Table 1 Conditions and results.

区間		A	B	C	D
荷重条件		積車	積車	空車	空車
データ数	支援なし	47	47	36	36
	支援あり	6	6	7	7
電力量平均 [Wh/t]	支援なし	567.0	456.6	729.4	892.2
	支援あり	498.4	438.4	630.0	847.0
電力量変動係数	支援なし	0.118	0.082	0.161	0.111
省エネ効果		12.1%	4.0%	13.6%	5.1%

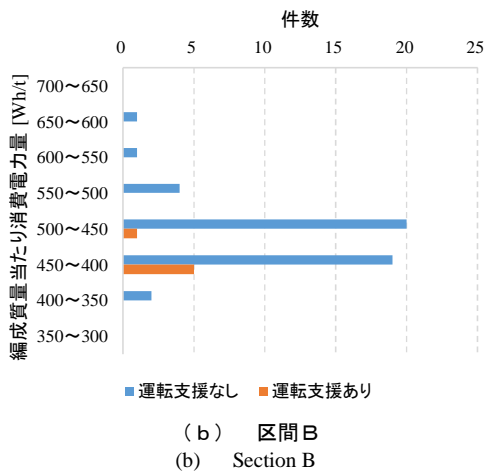
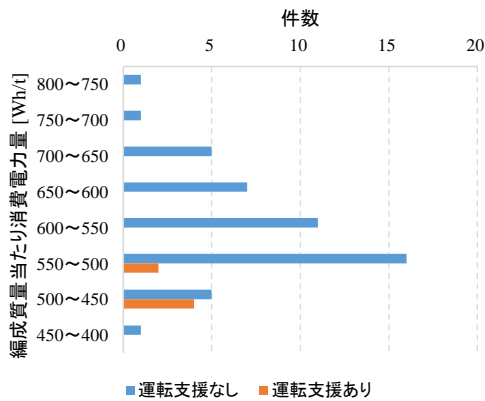


図 7 電力量の分布  
Fig. 7 Distribution of energy consumption.

大な協力を頂いた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

文 献

- Tomoyuki Ogawa: "Development of Driver Advisory System using Speed Estimation for Freight Railway", 2021 Annual Meeting Record I.E.E. Japan, I.E.E. Japan, 5-154 (2021) (in Japanese)  
小川知行: 「運転曲線予測による貨物列車向け運転支援システムの開発」, 令和 3 年電気学会全国大会, 電気学会, 5-154 (2021)
- Tomoyuki Ogawa, Toshihide Yokouchi, and Takamasa Yamada: "Effect Verification of Driver Advisory System using Speed Estimation for Freight Railway", 2022 Annual Meeting Record I.E.E. Japan, I.E.E. Japan, 5-154 (2022) (in Japanese)  
小川知行・横内俊秀・山田昂征: 「運転曲線予測による貨物列車向け運転支援システムの効果検証」, 令和 4 年電気学会全国大会, 電気学会, 5-154 (2022)
- Tomoyuki Ogawa: "Energy Saving Driving Method for Freight Railway Considering Running Resistance and Motor Efficiency," IEEE Transactions on Industry Applications, I.E.E. Japan, Vol. 142, No. 1, (2022) (in Japanese)  
小川知行: 「走行抵抗特性とモータ効率特性を考慮した貨物列車の省エネ運転方法」, 電気学会論文誌D、電気学会、Vol. 142、No. 1 (2022)

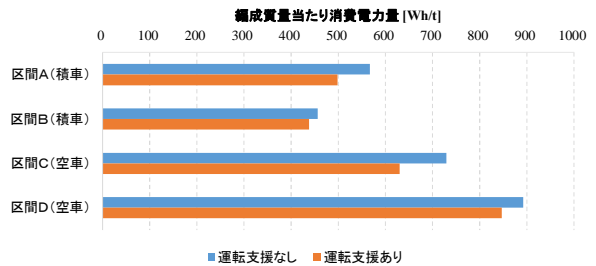


図 8 電力量平均値の比較  
Fig. 8 Comparison of average of energy consumption.

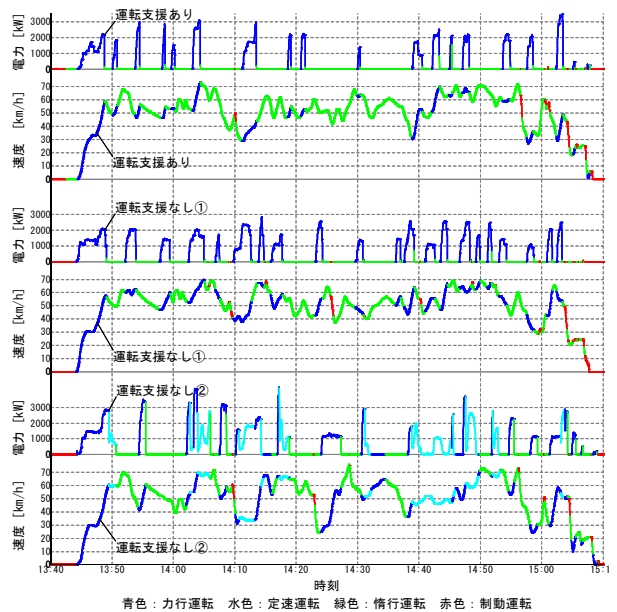


図 9 速度と電力の推移の比較の例 (区間 A)  
Fig. 9 An example of comparison of speed and power.