

# エネルギー消費の少ない 運転方法を探る

近年、鉄道においてもエネルギー消費の削減が求められています。エネルギー消費の削減方法の1つとして、列車の運転方法の工夫があります。この手法は、車両の設備や列車ダイヤの変更などを行わず、比較的簡単に実施することが可能です。本稿では、運転曲線作成技術を用いた列車の走行シミュレーションによる、エネルギー消費の少ない運転方法を探る手法について紹介します。

## さまざまな運転方法

日本の鉄道は遅れが少なく、時間通りに運行されていることで有名です。普段、鉄道を利用するとき、駅に行けば時刻表通りに列車がやってきて、列車に乗れば時刻表通りに目的駅へ到着します。そのためには、決められた時刻通りに列車を運行する必要があります。

一方、駅間における列車の運転方法はどのようなのでしょうか。運転士は、「力行」、「惰行」、「ブレーキ」といった操作を用いながら、列車を走らせています。自動車の運転に例えると、力行はアクセルに相当します。そして、力行とブレーキの度合いは、鉄道では「ノッチ」によって加減します。ノッチとは、列車が加速や減速するために発揮する力を段階的に分けたものです。惰行とは、アクセルやブレーキを切った後などに、車両が慣性で走行している状態です。自動車の運転方法が人によって違うように、列車の運転も運転士によって違います。ある2つの運転方法の例を図1に示します。図1では横軸を距離、縦軸を速度として、列車の動きとそのときの運転方法を示しています。図の右と左ではともに、同じ時間

で同じ駅間を走行した結果になりますが、2つの運転方法の様子は大きく違います。この運転方法の違いによって、そのエネルギー消費も大きく変化してきます。

つまり、自由度の大きい運転方法を工夫することによって、列車運行におけるエネルギー消費を削減することができますと言えます。

## 駅間の走行時間の決め方

列車の運転方法にこのような違いが生じる主な理由は、駅間の走行時間の決め方にあります。駅間の走行時間は、運転曲線(図2)を用いて求めます。運転曲線とは、列車の進行に伴って変化する距離・速度・時間の関係を示したものです。列車の性能を最大限に発揮して走行した場合の運転曲線を作成することにより、駅間を走行するために最低限必要な時間を求めることができます。ここでは、前述の最低限必要な走行時間を求める際に用いるものを、「運転曲線」とします。

運転曲線は、駅間における速度の変化を表した「速度曲線(または走行曲線)」と時間の変化を表した「時間曲線」



**熊澤 一将**  
Kazumasa Kumazawa  
信号・情報技術研究部  
運転システム研究室  
研究員  
[専門分野] 運転曲線



**村上 浩一**  
Kouichi Murakami  
車両制御技術研究部  
動力システム研究室  
室長  
[専門分野] 鉄道車両  
のエネルギー消費計算、  
気動車



**近藤 稔**  
Minoru Kondo  
車両制御技術研究部  
動力システム研究室  
主任研究員  
[専門分野] 鉄道車両  
のエネルギー消費計算、  
電車で用モーター



**小川 知行**  
Tomoyuki Ogawa  
車両制御技術研究部  
動力システム研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 鉄道車両  
のエネルギー消費計算、  
ハイブリッド車両

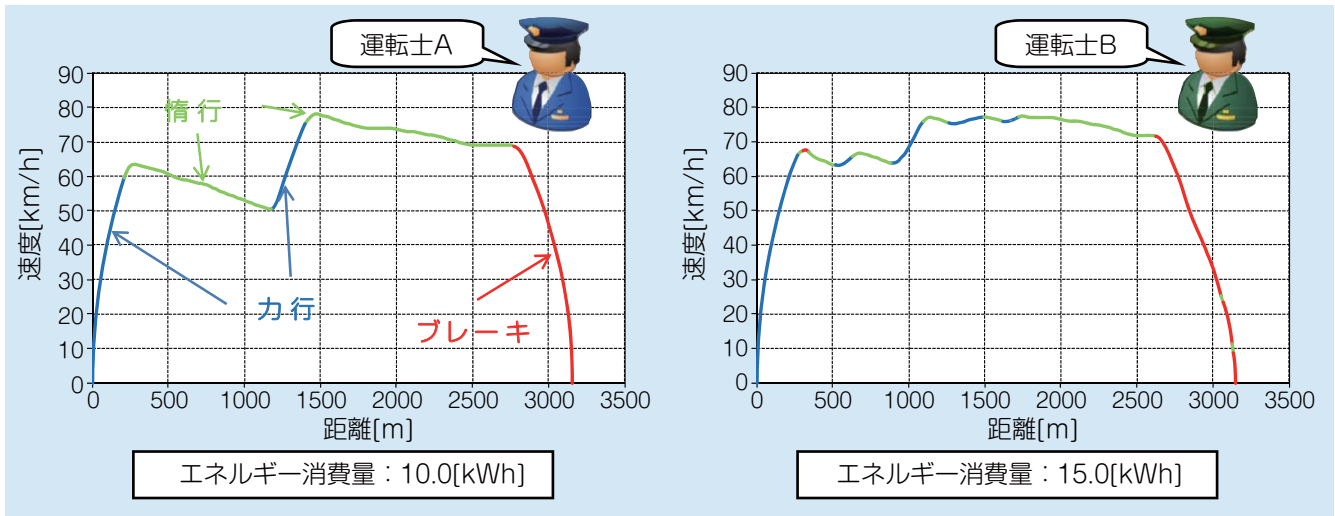


図1 運転方法の違いとエネルギー消費

からなります。速度曲線は、以下の条件を考慮した力学的な計算を用いて求めます。

- 車両の動力性能
- 列車抵抗：走行時の空気抵抗など
- 線路の条件：速度制限や信号の制限など

速度曲線が求まると、それをもとに時間曲線を作成することができます。でき上がった時間曲線から、駅間を走行するために必要な時間を知ることができます。

一般的に、運転曲線作成により求められた時間に「余裕時間」を追加して、駅間の走行時間を定めます。したがって、駅間の走行時間は、ある程度余裕がある時間となります。この余裕時間は、列車に遅延が発生した場合に遅延を回復させるために必要となります。定められた走行時間で走行するためには、駅間のどこかで「ゆっくり」と走行する必要があります。どこでゆっくり走行するかは、運転士の判断になります。この自由度から、さまざまな運転方法が生まれます。

### 運転方法を検討する

運転方法を検討するためには、まずは列車の走行をシミュレーションする必要があります。ここでは、前述の運転

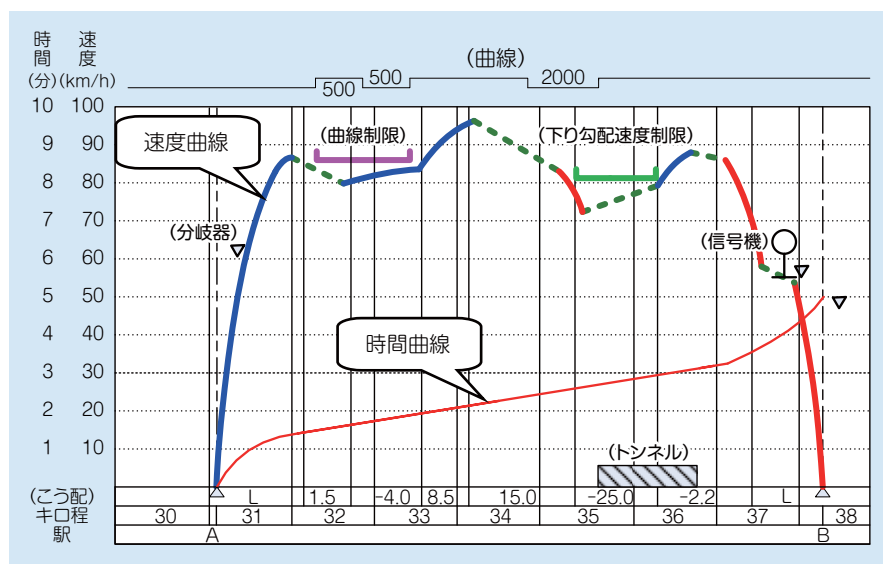


図2 運転曲線の例

曲線を利用した検討方法を説明します。

現在、運転曲線はコンピュータによって作成するのが一般的になっています。しかし、最も短い走行時間を求めるために作成された運転曲線は、余裕時間が考慮されていません。これに対して、余裕時間が付加された場合における運転方法を示したものとして、「指導運転曲線図」があります。指導運転曲線図は、乗務員への運転方法の指導において利用されています。指導運転曲線図の作成においては、走行時間に付加された余裕時間を考慮するために、もとの運転曲線における運転方法を修正していく必要があります。指

導運転曲線図を作成するため、鉄道総研が開発した運転曲線作成システム(☞参照) Speedyでは自動作成した運転曲線に対して、任意に運転方法を変更する「運転指定機能」を実装しています。この機能を用いることによって、

### ☞ 運転曲線作成システム

運転曲線の作成は、もともと手作業で行われていました。しかし、この作業は、経験や多くの手間を要し、一般的に1日あたり約100km程度が限度でした。現在は、運転曲線の作成をコンピュータにより作成する、Speedyをはじめとした運転曲線作成システムが実用化されています。

机上にてさまざまな運転方法を検討する走行シミュレーションが可能となっています。

### 電車におけるエネルギー消費を計算する

運転方法の検討が可能になると、検討した運転方法におけるエネルギー消費を計算することができます。しかし、電気で動く電車と軽油で動く気動車では、エネルギー消費の計算方法が異なります。まずは、電車のエネルギー消費量を計算する方法について説明します。

電車のエネルギー源は電気なので、消費した電力を合計すればエネルギー消費量を計算できます。ただし、最近の電車は力行時に電力を受け取るだけでなく、ブレーキ時にはモーターを発電機として動作させて電力を架線に返す「回生ブレーキ」を備えています。そこで、力行時の消費電力量から回生電力量を引いて消費電力量を計算します。

列車の走行シミュレーションを行えば、各時刻の速度と運転状態（使用したノッチ）が計算できるので、それぞれの状態に対応する消費電力が分かれば、それを合計することで消費電力量が計算できます。

そこで、電車のエネルギー消費量計算システム「Ecoes（エコエス）」では、Speedyが用いている電車の引張力のデータやブレーキのデータを活用して、モーターなどの機器の効率が一定値である前提で電力データ（モーターが発揮する力と電力の関係を示したものを自動生成する機能などを設け、簡単に電力データの設定ができるようにしています。その一方で、より正確な計算もできるように、各速度・各運転状態に対応した電力データを一点ずつ入力する事もできるようにしています。

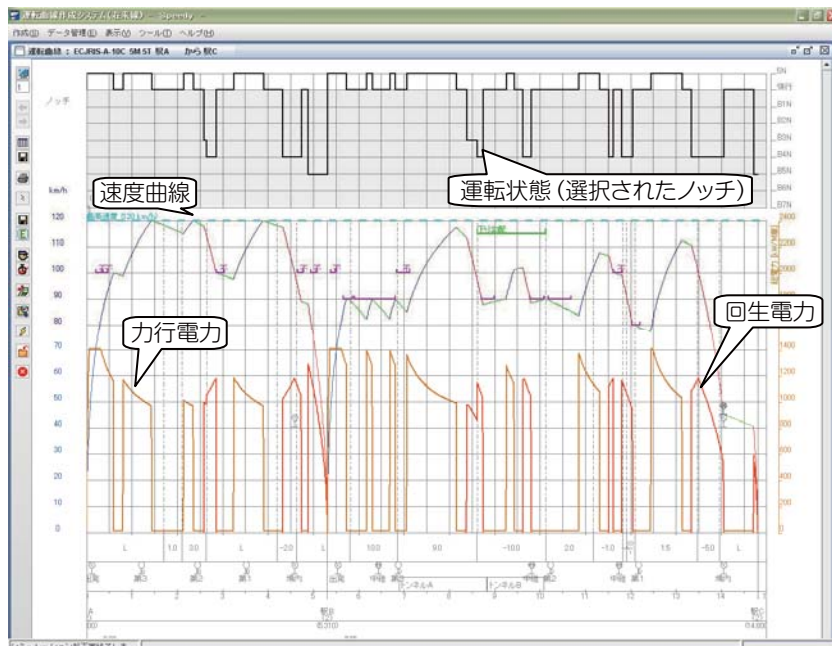


図3 Ecoesにおける計算結果

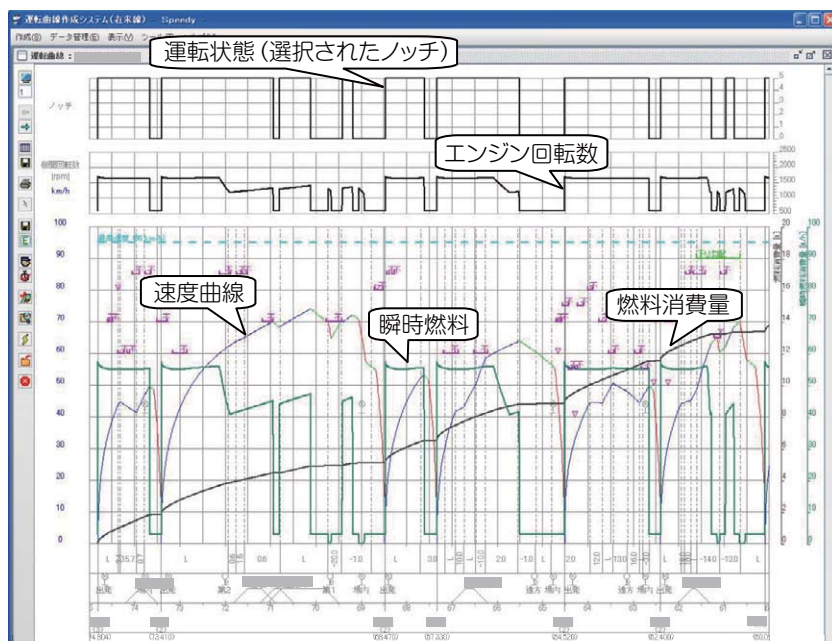


図4 Decoesにおける計算結果

図3はEcoesを用いた計算結果の例です。各地点での電力や運転状態が速度曲線とともに示され、電力の変化が一目で分かるようになっています。

### 気動車におけるエネルギー消費を計算する

続いて、気動車のエネルギー消費量を計算する方法について説明します。気動車のエネルギー消費量を計算する

ということは、気動車の走行に伴って消費される燃料の総量を計算することです。従って、単位時間当たりの燃料流量（瞬間燃料）を積算すればエネルギー消費量に当たる燃料消費量を計算できます。

電車の場合と同様に、列車の走行シミュレーションを行えば、各時刻の速度と運転状態が計算できます。さらに、その状態におけるエンジン動作点

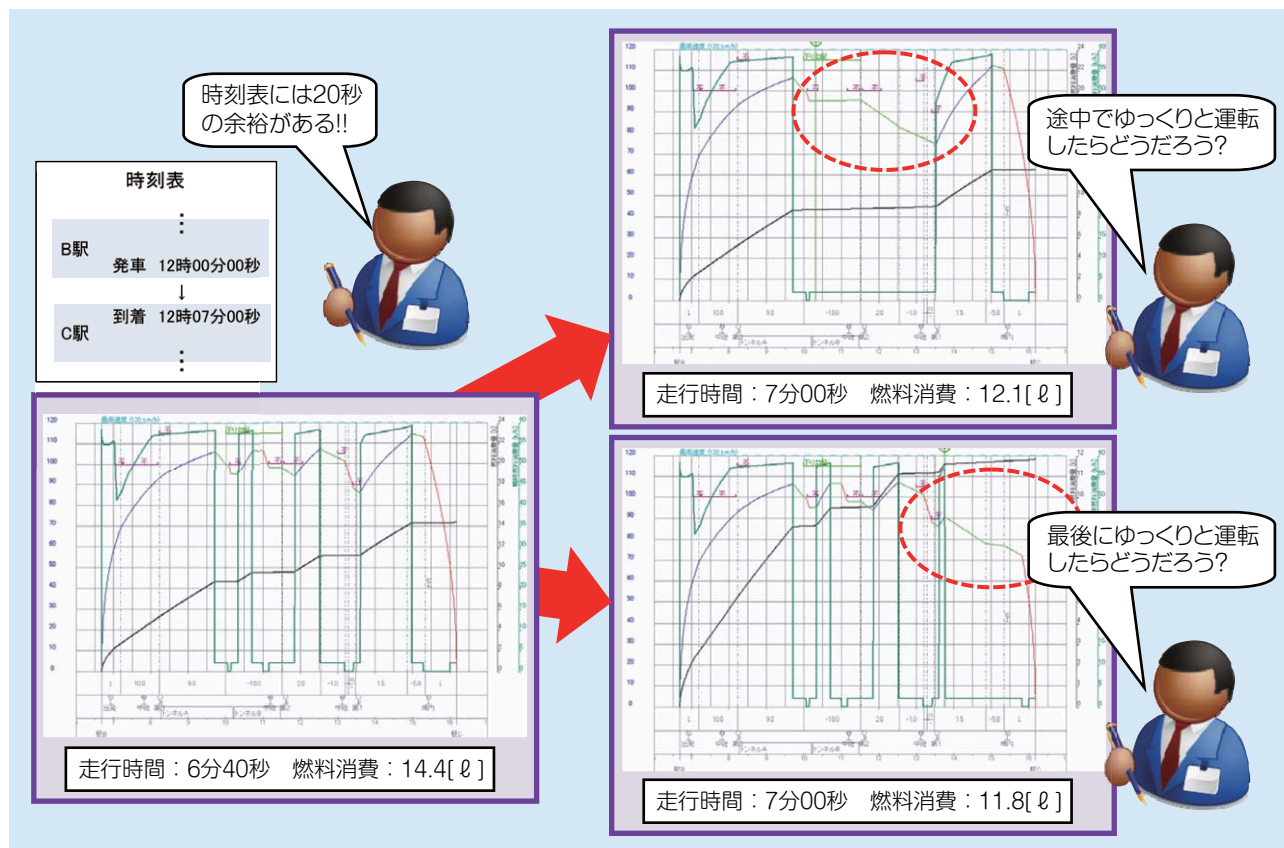


図5 エネルギー消費の少ない運転方法の検討例

(負荷率，エンジン回転数)が決まれば、瞬時燃料が分かり、それを積算して燃料消費量を計算できます。

Speedyを活用した気動車のエネルギー消費量計算システム「Decoes (デコエス)」は、運転曲線を求めるために必要となる気動車の引張力のデータに加え、走行中のエンジン動作点を示すエンジン負荷データとエンジンそのものの燃費特性を示すエンジン性能データを設定します。

Decoesによるエネルギー消費量の計算は、初めにノッチと速度からエンジン負荷データを用いてエンジン動作点を求め、この動作点からエンジン性能データを用いて瞬時燃料を求め、これらを積算して燃料消費量を算出する仕組みとなっています。

図4はDecoesを用いた計算結果の例です。各地点におけるノッチなどの運転状態と瞬時燃料の変化および燃料消費量の推移などが速度曲線とともに

示されます。

### エネルギー消費の少ない運転方法の検討例

最後に、エネルギー消費の少ない運転方法の検討例を紹介します。ここでは、気動車を対象としてDecoesを用います。その検討方法を図5に示します。運転曲線から求めた走行時間に余裕時間を加えて時刻表の運転時刻が設定されているものとしします。この場合、まず運転曲線に修正を加えることにより、時間通りに走行できる運転方法を求めます。そのときのエネルギー消費量を比較することにより、エネルギー消費の少ない運転方法の検討が可能になります。図5では、後半部分に「惰行」を多く入れたほうが、エネルギー消費が少ないことがわかります。

### おわりに

鉄道における有効なエネルギー消費

の削減方法として、運転方法の工夫があります。この方法は、ダイヤや車両の設備などを変更することなく実施することが可能です。今回、運転曲線を用いたエネルギー消費の少ない運転方法の検討について紹介しました。その検討ツールとして、鉄道総研ではEcoesやDecoesといった消費エネルギー計算システムを開発しています。これらのツールは、今後のエネルギー消費の少ない運転方法の検討における利用が期待されています。[RRR]

### 文献

- 1) 電気鉄道ハンドブック編集委員会：電気鉄道ハンドブック，コロナ社，2007
- 2) 運転理論研究会：運転理論（再改訂版）—基礎理論と応用実務—，社団法人運転協会，2010
- 3) 小川知行，村上浩一，近藤稔：運転操作と機器特性から消費エネルギーを分析する，RRR，Vol.66，No.12，2009.12