

# 定速運転を用いた貨物列車の省エネ運転方法の提案

小川 知行\*

Proposal for Energy-Saving Driving Method of Freight Trains Using Constant-Speed Operation

Tomoyuki OGAWA

This paper presents driving methods for energy-saving of freight trains. First, we discuss a driving strategy that conserves energy considering running resistance and motor efficiency. Secondary, we confirm energy consumption and driving maneuverability, conducting running tests on several energy-saving driving methods. We also establish an energy simulation method by reproducing running tests. Finally, we verify the proposed driving method for energy-saving conducting energy simulation. This paper proposes a driving method using a constant-speed operation, which is expected to reduce energy consumption in terms of running resistance and motor efficiency.

キーワード：消費エネルギー，定速運転，のこぎり運転，走行抵抗特性，モータ効率特性

## 1. はじめに

鉄道運行に関わる消費エネルギーを削減するための様々な研究開発が進められている。それらの研究開発は大きく分けると、電力設備や車両機器などに省エネ技術を導入する方法と、列車の運行方法を工夫する省エネ手法に分けられる。このうち後者の手法である省エネ運転は、運転操縦という人間による業務での実現性を考慮しなければいけないという難しさがある。このため多くの理論検討がなされるものの実践に至る事例は限られており、今後の実現により大きな省エネ効果が期待できる手法でもある。

省エネ運転方法として、最大力行、定速走行、惰行、最大制動の運転（図1）が、理論的に消費エネルギーが最小となるということは、古くより知られている<sup>1)2)3)</sup>。しかしながら、この理論の適用に関しても、実際の運転士の運転操縦に落とし込んで考えないと省エネ運転は実現できない。その一例としては、最大制動が省エネになるとは言え、停止位置調整ができるような制動でなければ実運転には適用できないため、車両性能上の最大制動でなく、実運転操縦上の最大制動を想定して考える必要があることが挙げられる。また、衝動防止の観点からは、ノッチを瞬間的に切り替えるのではなく、引張力やブレーキ力を徐々に変化させることが望ましいことはよく知られている。これらの事例に代表されるように、省エネ運転の実運転への適用には様々な課題があり、理論と実験を適切に併用して取り組む必要がある。そこで、本報告では、省エネ運転方法を理論的に検討した上で、実運転操縦に落とし込んで適用の可能性を検討し、定速運

転を用いた貨物列車の省エネ運転方法を提案する。

## 2. 背景

### 2.1 貨物列車の運転扱い上の特徴

貨物列車の走行は、駅停車が少ない、パターンダイヤが組まれていない、編成質量が日によって大きく変動する、電力回生を行う機関車はごく限られているなど、旅客列車と大きく異なる特徴を有する。また、機関車けん引による動力集中方式であるため力行ノッチが多段に分かれており衝動防止や空転防止などの観点から段階的に力行ノッチを投入する運転が一般的である、貨車の両数や質量が日によって大きく変動することや自動ブレーキであることなどのためブレーキ減速度の変動が大きく慎重なブレーキ操作が求められるなど、運転操縦においても旅客列車と大きく異なる特徴を有する。このため、旅客列車と同様の手法にて省エネ運転を実践することや、その結果を評価することは困難である。また、他列車と

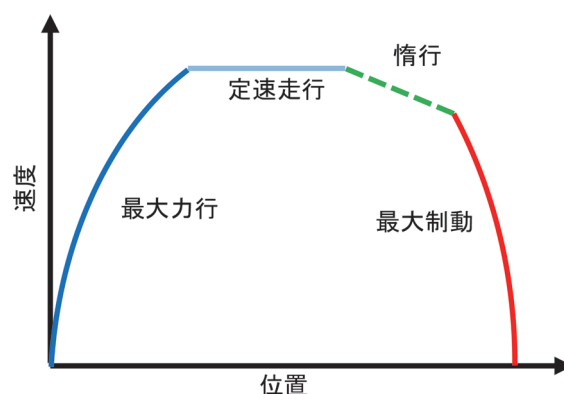


図1 省エネ運転の基本理論

\* 車両技術研究部 水素・エネルギー研究室

線路を共有する線区や時間帯に走行する貨物列車は、余裕時分が多く設定され、最高速度や速度制限に近い速度で走る場合に比べて、運転方法の自由度が高いことが多い。この場合には、省エネ運転方法を検討するにあたっては選択肢が多くなり、理論検討における難易度が高くなる。貨物列車における省エネ運転方法は様々なものが考えられるが、貨物列車の走行の多くを占めるのは巡航走行である。この巡航走行において、信号現示や駅通過時刻の制約を受ける時を除けば、貨物列車はブレーキを扱う機会は少なく、単位距離当たりや単位質量当たりで考えた場合に消費エネルギー効率の良い運転が元来より行われていると考えられる。このように、巡航走行において既に消費エネルギーの少ない運転が行われていると考えられるが、より消費エネルギーの少ない省エネ運転を実施するには、実際の貨物列車の各種パラメータに合わせた検討が必要となる。そこで、貨物列車の巡航走行に着目し、近年の貨物列車及び機関車を対象に測定された走行抵抗特性とモータ効率特性を踏まえて、走行試験とエネルギーシミュレーションにより省エネ運転方法を検討した。これらの結果から、定速運転と惰行を併用した走行を貨物列車の省エネ運転方法として提案する。

## 2.2 省エネ運転の基本理論

貨物列車の省エネ運転方法を理論的に検討する。電力回生を行わない貨物列車は、定速走行も含めた力行時の消費電力の積算値が消費エネルギーとなり、これを小さくすることが求められる。貨物列車においても、省エネ運転を実現する基本的な考え方は図1に示す最大力行、定速走行、惰行、最大制動の運転であると考えられる。本報告ではこれを省エネ運転の基本理論と呼ぶ。この省エネ運転の基本理論では、最大力行、定速運転、惰行、最大制動が消費エネルギーを最小にすることが理論計算によって確認されている<sup>1)2)3)</sup>。この省エネ運転の基本理論は、走行抵抗は速度に対する二次式で表されることを前提とし、車両の機器効率は一定であることを仮定している。このため、速度や出力に応じた車両の機器効率を考慮した場合には、この省エネ運転の基本理論とは異なる運転方法により、消費エネルギーが小さくなる可能性がある。

## 2.3 巡航走行の運転方法

貨物列車は、通過駅のうちの多くが採時駅として通過時刻が指定されており、通過となる採時駅間を運転時分に合わせて走行することが大半となる。この際の運転時分にはある程度の余裕が付与されており、線区最高速度よりも低い速度で巡航走行する機会が多い。本報告では、その際の運転方法について着目する。

巡航走行の際には、大きく分けてのこぎり運転と定速

運転が考えられる。のこぎり運転と定速運転の運転方法の概念図をそれぞれ図2、図3に示す。のこぎり運転は、力行と惰行を繰り返すものであり、ある程度の速度幅をもって運転される。力行時には、インバータ制御の電気機関車では10段以上の多くのノッチが選べるが、その際には列車抵抗（走行抵抗、勾配抵抗、曲線抵抗等の和）を超える大きなノッチが使用される。一方、定速運転は、採時駅間の運転時分と駅間距離から算出される平均速度で走行するものであり、列車抵抗に均衡する力行ノッチを使用するか、主変換装置の定速運転機能を使用することによって実現可能である。近年のインバータ制御の電気機関車は、定速運転機能を有するため、適用が容易になってきている。

## 3. 評価対象列車

### 3.1 評価対象列車の運行概要

対象列車は、インバータ制御の直流電気機関車が、タンク車及びタンクコンテナを積載したコンテナ車をけん引する貨物列車（以下、評価対象列車）とした。評価対象列車は、編成の質量が比較的高い精度で把握できることから、測定結果の比較だけでなく、走行抵抗の把握やシミュレーション条件の設定において、高い信頼度が期待できる。

評価対象列車は、約70[km]の区間を無停車で走行する。途中20駅程度の採時駅が設定されており、通過時分及び速度制限を遵守した運転が求められる。対象路線は、一部には最大12.0[%]の上り勾配も含まれるが、全線を平均すると1.0[%]の上り勾配となる緩い上り勾配が多い路線である（図4）。

### 3.2 走行抵抗特性の推定

貨物列車は、様々な編成があり、走行試験によって求

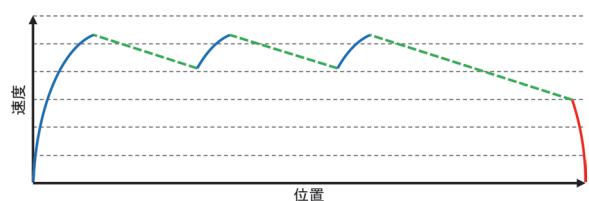


図2 のこぎり運転の概念図

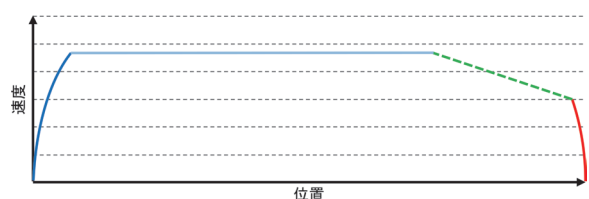


図3 定速運転の概念図

めることができる走行抵抗は限られている。このため、編成構成に応じた走行抵抗の推定が望まれる。そこで、評価対象列車の走行データを収集した<sup>4)</sup>。評価対象列車の走行抵抗特性を図5に示す。

### 3.3 モータ効率特性の推定

モータ効率を推定するために当該主電動機の型式試験結果を用いた。評価対象列車の機関車の力行ノッチ毎のモータ効率を算出し、シミュレーションのモータ効率モデルとした<sup>4)</sup>。当該機関車の力行ノッチ毎のモータ効率を計算した結果を図6に示す。力行ノッチが8N~9Nの時にモータ効率は特に高く、力行ノッチが6Nを下回ると、モータ効率が大きく低下する。

## 4. 省エネ運転の理論検討

### 4.1 検討概要

貨物列車の省エネ運転方法を検討するため省エネ運転試験を実施した。省エネ運転試験は図7に示すような運転方法を採用した。これらについて本章にて理論的な根拠を示す。本報告で主題となる巡航走行については、走行抵抗とモータ効率の観点から消費エネルギーが小さくなると考える小刻みのこぎり運転や定速運転を採用する。具体的には、小刻みのこぎり運転、定速運転主体、定速運転併用の3通りの運転方法を採用するに当たっての理論検討を示す。また、省エネ運転試験に当たっては、巡航走行以外の運転となる区間も存在するため、それについては、速やかな加速運転、速度制限下の定速運転、速度制限に向けた惰行を実施する。これらを実施するに当たっての理論検討も示す。

### 4.2 巡航走行時の理論検討

巡航走行時について、走行抵抗とモータ効率を検討する。

#### 4.2.1 走行抵抗

走行抵抗の観点からは、高速域での走行抵抗を下げることで省エネ運転に寄与する。これは、走行抵抗が速度の二乗に比例して大きくなるため、ある区間を同じ走行

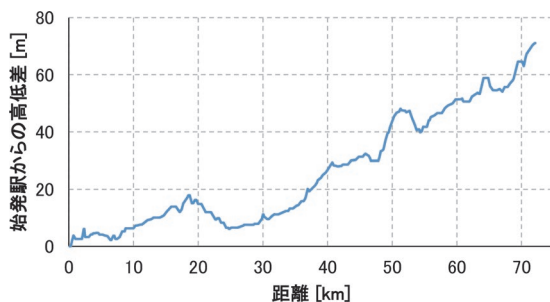


図4 走行線路概要

時分で走行する際に、速度の変化が少ない方が走行抵抗による損失が小さくなり、一定の速度で走行する場合に走行抵抗による損失が最小となる<sup>6)</sup>。よって、走行抵抗の観点からは、定速運転が省エネ運転において有利であるとえられる。

#### 4.2.2 モータ効率

モータ効率の観点からは、効率の高い大きなモータ出力で運転することが省エネ運転に寄与する。一定の速度に保つ定速運転は、列車抵抗と同じだけの引張力を出力することで実現される。定速運転時のモータ効率特性を図8に示す。定速運転によって一定に保つ速度によってモータ効率は異なってくるが、定速運転は勾配が小さくなると、モータ効率が低くなる。これに対して、のこぎり運転はモータ出力が大きいため、モータ効率が高くなる。よって、モータ効率の観点からは、のこぎり運転が省エネ運転において有利であるとえられる。

### 4.3 小刻みのこぎり運転の検討

走行抵抗特性とモータ効率特性を考慮すると、のこぎり運転も定速運転も省エネの観点では一長一短があることがわかる。そこで、一定の速度に近づけつつ、力行と惰行を繰り返す小刻みのこぎり運転が消費エネルギーの小さい運転方法の候補として挙げられる。小刻みのこぎり運転の運転方法の概念図を図9に示す。小刻みのこぎり運転は、換言すれば速度幅の小さなこぎり運転と言える。

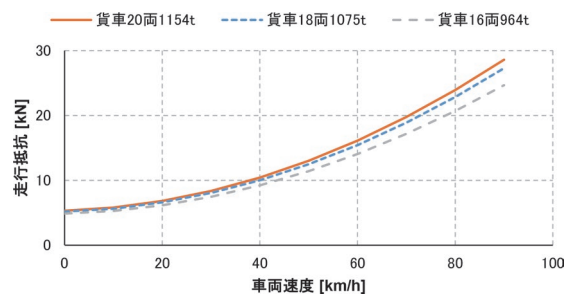


図5 推定した走行抵抗特性<sup>5)</sup>

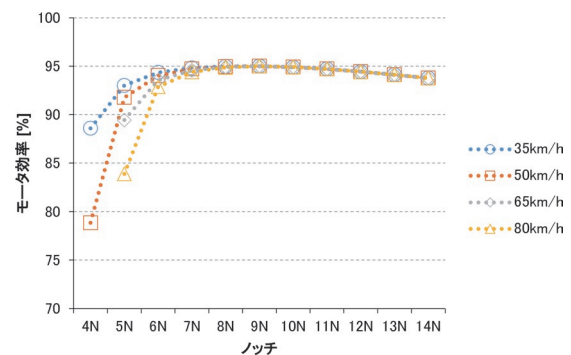


図6 力行ノッチに対するモータ効率特性

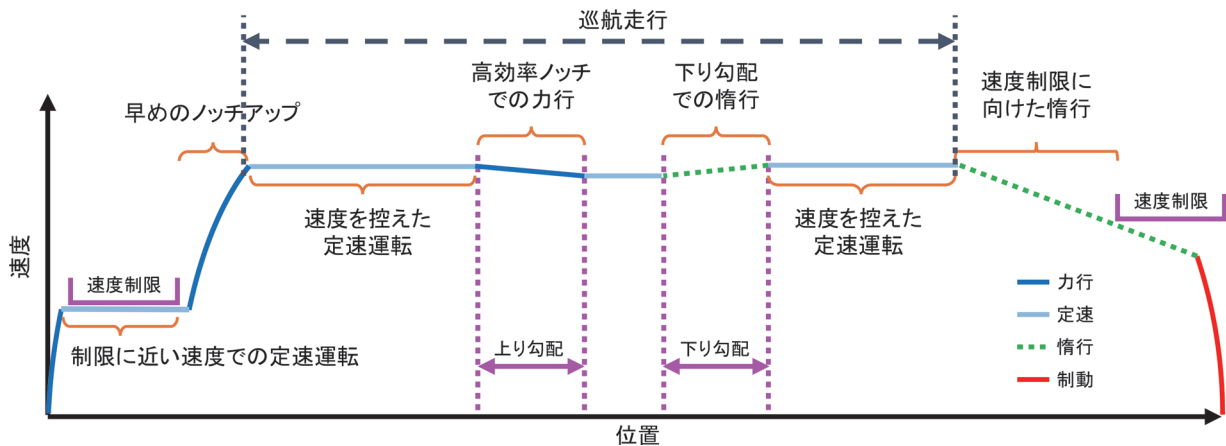


図7 貨物列車の省エネ運転の概念図

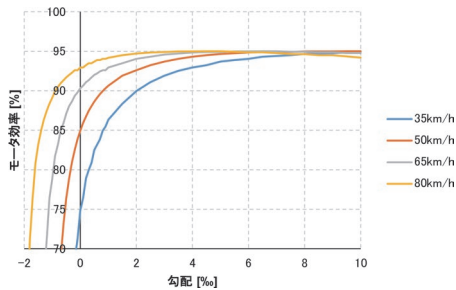


図8 定速運転時のモータ効率  
(20両1154 [t] 時)

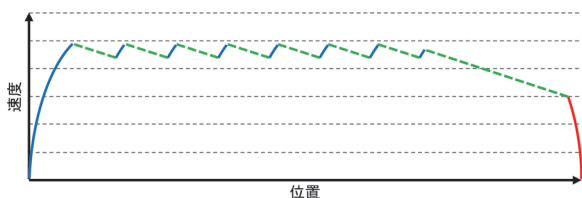


図9 小刻みのこぎり運転の概念図

#### 4.4 定速運転と惰行の併用の検討

小刻みのこぎり運転は、頻繁な力行と惰行の切り替えが発生し、運転操縦性に難がある。そこで、小刻みのこぎり運転を用いない運転方法を検討する。定速運転とのこぎり運転の比較の観点から、走行抵抗特性とモータ効率特性の消費エネルギーへの影響を後述するエネルギーシミュレーションにより比較したところ、走行抵抗特性の方が影響が大きくなった。すなわち、概ね一定速度に保つ運転方法として定速運転が小刻みのこぎり運転に次いで消費エネルギーを小さくすると考えられる。このため、実路線の勾配変化を踏まえ、定速運転を使用しながら、走行速度やけん引質量に応じて定速運転時のモータ出力が小さくなる下り勾配や平坦に近い場合には、積極的に惰行に切り替えることが望ましいと考えられる。本報告では、勾配に関わらず定速運転を用いる方法を「定速運転主体」、勾配に応じて積極的に惰行に切

表1 巡航走行における省エネ運転方法<sup>5)</sup>

	小刻みのこぎり	定速運転主体	定速運転併用
急な上り勾配	高効率ノッチ力行	定速	高効率ノッチ力行
緩やかな上り勾配	小刻み		定速
平坦			定速
緩やかな下り勾配	惰行	惰行	惰行
急な下り勾配			

り替える方法を「定速運転併用」と呼ぶことにする。巡航走行時の省エネ運転方法を表1に示す。

#### 4.5 巡航走行以外の省エネ運転

巡航走行以外の運転となる区間について、定性的な議論を示す。

##### 4.5.1 速やかな加速運転

省エネ運転の基本理論にある通り、加速時には最大力行が消費エネルギーを小さくする。加速度が低い走行では、速度が低いうちの距離当たりの走行に要する時間が長くなり、同じ走行時分で走行する場合には、それを補うために速度が高いところでより多くの加速が必要となるためである。このため、速やかに加速するように、空転が発生しない範囲で力行ノッチは速やかに上昇されることが望ましい<sup>7)</sup>。

##### 4.5.2 速度制限下の定速運転

曲線や分岐器や信号現示等による速度制限によって、他の区間に比べて走行速度が著しく制限される箇所では、その区間の走行に要する時間が著しく長くなる。これによる走行時分の増加を、他の区間において高い速度で走行することによって補おうとすると大きな消費エネ

ルギーを要してしまう。このため、速度制限の影響を受けない区間では速度を控えて、低い速度の速度制限下では制限速度に近い速度で走行することが望ましい。一般に惰行による通過では、速度が低下してしまうため、勾配に留意した上でなるべく制限速度に近い速度での定速運転が走行時分の観点で有利となる<sup>7)</sup>。

#### 4.5.3 速度制限に向けた惰行

曲線や分岐器や信号現示等による速度制限の手前では、制限速度に合わせて速度を落とす必要があるが、この際にブレーキを扱うと列車の運動エネルギーを消費することとなり大きな損失となる。すなわち、ここで失われる損失を運動エネルギーとして事前に与えておくための力行エネルギーが増大する。このため、走行時分が許容される範囲で、惰行によって速度を落とすことでこの損失を発生させないことが有利となる。

### 5. 省エネ運転試験

#### 5.1 試験走行条件

前章での理論検討を踏まえた省エネ運転試験を実施した。省エネ運転試験の走行方法の概要は図7の通りである。巡航走行においては概ね一定速度に保つ運転方法として定速運転もしくは小刻みのこぎり運転を用いて、それ以外にも消費エネルギーが少なくなると考えられる運転方法を実施した。なお、それぞれの運転方法に合わせて、巡航走行の前後も含めて運転操縦性を考慮して調整しているため、巡航走行以外の部分も走行方法が一部異なっている。このため、省エネ運転試験は、省エネ運転方法の違いを単純に比較できるものではない。併せて、通常の営業走行のデータも収集し、これと比較する。

巡航走行の運転方法として、表1に示す小刻みのこぎり運転、定速運転主体、定速運転併用の3通りを実施した。小刻みのこぎり運転の際の力行は、モータ効率が特に高い8Nもしくは9Nとした。小刻みのこぎり運転の場合には、平均速度±2[km/h]程度の速度範囲を目安となるようにした。採時駅間の運転時分に応じた平均速度程度となるような運転指定を実施した。

なお、通常走行の消費エネルギーを分析すると風の影響が大きいことが確認されている<sup>5)</sup>。このため、風向に関わらず風速2[m/s]を超えるデータは除外した。

#### 5.2 運転指示

省エネ運転試験では、事前にエネルギーシミュレーションを実施し、省エネ運転となる運転方法を検討した。エネルギーシミュレーションには、別途開発してきたエネルギーシミュレータ「Hybrid-Speedy」<sup>8)</sup>を用いた。エネルギーシミュレーションで想定した運転方法に近づくように、線路上の目標物毎に運転指示を行って走行し

表2 運転指示書の例（定速運転併用）

地点	指示	事由
A 駅 (47.3)		
出発 (47.5)	8N 力行	上り勾配
B 駅 (51.6)		
出発 (52.0)	8N 力行後, 76km/h で惰行	下り勾配
第1閉塞 (55.8)	72km/h 定速	時分
C 駅 (57.2)		
D 駅 (61.2)		
出発 (61.5)	8N 力行後, 76km/h で惰行	上り勾配
第1閉塞 (63.8)	60km/h 定速	時分
64.5 キロポスト	惰行	下り勾配
E 駅 (65.7)		
第1閉塞 (66.9)	60km/h 定速	時分
F 駅 (68.2)		
橋梁入口 (69.5)	惰行	速度制限
G 駅 (72.8)		

( ) 内の数値は km 単位の地点を示す。

た。エネルギーシミュレーションによって作成した運転指示書の例を表2に示す。運転指示書に基づき、運転士に対して運転指示を行って走行した。運転指示箇所は、目標としてわかりやすい信号機を中心に設定した。例えば、「出発」は出発信号機の建植位置、「第一閉塞」は第一閉塞信号機の建植位置を示す。また、運転指示の事由を示すことで、関係者への運転指示内容への理解を促した。例えば、「上り勾配」では上り勾配のための力行であること、「下り勾配」では下り勾配のための惰行であること、「時分」では走行時分を合わせるための定速運転であること、「速度制限」では速度制限に向けた惰行であることを示す。

#### 5.3 試験結果

試験走行の消費エネルギーの比較を図10に示す。評価対象列車のけん引質量は日によって異なるため、消費電力量に対して編成質量（けん引質量と機関車質量の和）で除した値を消費エネルギーとして評価の対象とした。試験走行7件と通常運転61件の平均を示しており、通常運転61件の度数分布については図11に示す。

消費エネルギーを比較すると、通常運転平均値に対して、省エネ運転試験結果は7~14%程度小さい結果となった。省エネ運転試験は、省エネ運転を強く意識して運転しており、巡航走行時の省エネ運転と巡航走行以外の省エネ運転の両方の効果により、高い省エネ効果が得られたものと考えられる。なお、省エネ運転試験結果の中では、定速運転主体の消費エネルギーが大きくなっている。この要因としては、終着駅に進入する際に、他

の運転方法は惰行での進入を行ったのに対して、定速運転主体ではなるべく一定速度を保つようにしたことの影響が考えられる。

また、運転操縦性に関しては、定量的な評価には至っていないが、小刻みのこぎり運転は頻繁なノッチの操作があるため、目標とする速度に対して正確に合わせようとすると運転操縦への負担があることが確認されている。省エネ運転試験は、指導運転士による運転操縦であったことや、運転指示者の添乗があったことなどから小刻みのこぎり運転の実施に至っている。このため、一人乗務となる通常運転では小刻みのこぎり運転の実施は運転

操縦面での負担を慎重に評価することが求められる。

## 6. エネルギーシミュレーション

### 6.1 試験走行の再現

省エネ運転試験では、小刻みのこぎり運転、定速運転主体、定速運転併用それぞれの運転方法についてエネルギーシミュレーションに基づいた運転指示を行ったが、実際の運転操縦では想定したエネルギーシミュレーションと差違が生じることもある。そこで、省エネ運転試験の結果を再現するようにエネルギーシミュレーションを改めて実施することにより、エネルギーシミュレーションの妥当性を検証する。定速運転併用の省エネ運転試験の結果と、省エネ運転試験を再現したエネルギーシミュレーションとの比較として、消費エネルギーの比較を図12に、運転曲線の比較を図13に示す。シミュレーションと省エネ運転試験の消費エネルギーの差は2%程度となった。これより、走行試験結果の再現によりエネルギーシミュレーションの妥当性を確認した。

### 6.2 省エネ運転方法の比較

省エネ運転試験では、日々のけん引質量の差違や風の影響といった走行条件のばらつきや、運転方法を試行錯誤する過程での変更や、運転指示のタイミングのずれなどがあり、条件を揃えた上での省エネ運転方法の比較は

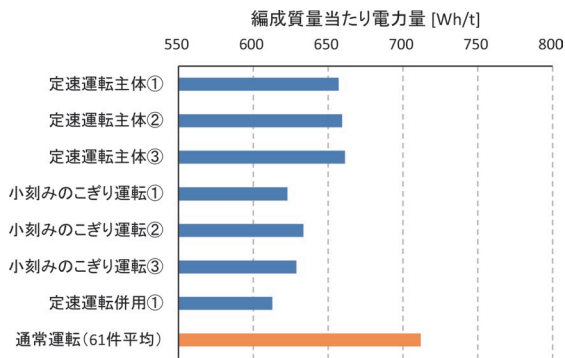


図10 省エネ運転試験の消費エネルギーの比較

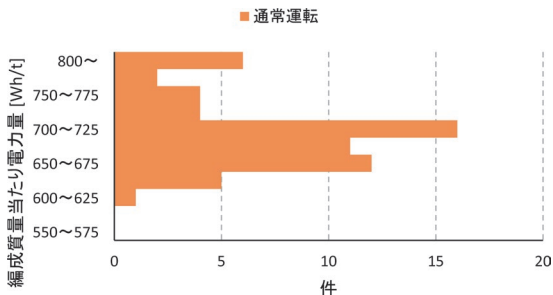


図11 通常運転の消費エネルギーの分布

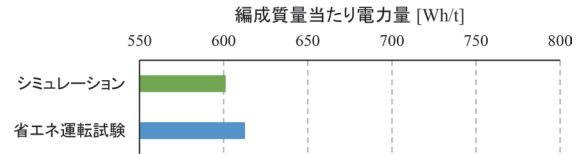


図12 走行試験結果とエネルギーシミュレーションの消費エネルギーの比較<sup>5)</sup>

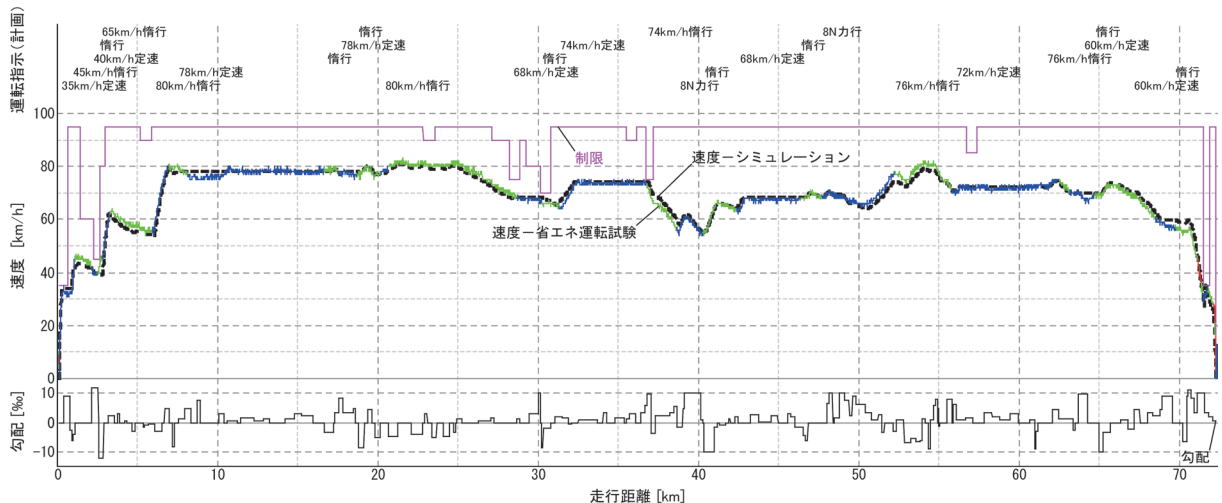


図13 走行試験結果とエネルギーシミュレーションの速度推移の比較 (定速運転併用)

困難である。そこで、エネルギーシミュレーションにより、省エネ運転方法を比較する。のこぎり運転と小刻みのこぎり運転のシミュレーションには、ノッチ抜きの地点を指定するマニュアル運転機能により、採時駅間の運転時分に応じた平均速度程度となるような運転指定を実施した。のこぎり運転の際の力行は、最大ノッチである14Nとし、小刻みのこぎり運転の際の力行は、モータ効率の高い8Nとした。のこぎり運転の場合には、平均速度±15km/h程度、小刻みのこぎり運転の場合には、平均速度±2km/h程度の速度範囲を目安となるようにした。定速運転のシミュレーションには、定速運転計算機能を構築し、採時駅間の運転時分に応じた平均速度を指定した。定速運転計算機能は、速度一定の運転曲線を作成し、列車抵抗と均衡するモータ出力にて消費電力を計算する機能である。なお、走行時分は概ね一致するように合わせてある。また、速度制限や通過時分の調整のため、一部の区間では、前述の原則を外れた運転となっている。ただし、省エネ運転試験において比較が難しかった

た終着駅への進入方法については、いずれの運転方法でも同一の速度で進入するように調整した。

消費エネルギーの比較を図14に、運転曲線の比較を図15に示す。この結果、小刻みのこぎり運転が最も消費エネルギーが少なく、それに次いで定速運転併用が消費エネルギーが少なくなっている。省エネ運転試験の結果から、運転操縦性を考慮すると定速運転併用の運転方法が省エネ性及び運転操縦性の観点から良好であると考えられる。

### 7. まとめ

本報告では、貨物列車において主体となる巡航走行の運転方法に着目し、走行抵抗特性とモータ効率特性を踏まえて、省エネ運転方法を検討した。省エネ効果は走行速度やけん引質量によって変動すると考えられるものの、省エネ運転試験により、小刻みのこぎり運転や定速運転と惰行を併用する定速運転併用が消費エネルギーの観点で優れていることを確認し、運転操縦性の観点から定速運転併用が良好であることを確認した。また、省エネ運転試験によって妥当性を確認したエネルギーシミュレーションを用いて、それぞれの手法について他の条件を合わせた上で消費エネルギーを比較し、小刻みのこぎり運転と定速運転併用が消費エネルギーの観点で優れていることを確認した。以上の結果、概ね一定速度に保つ

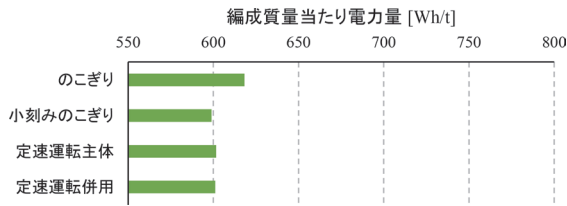


図14 省エネ運転方法毎の消費エネルギーの比較<sup>5)</sup>

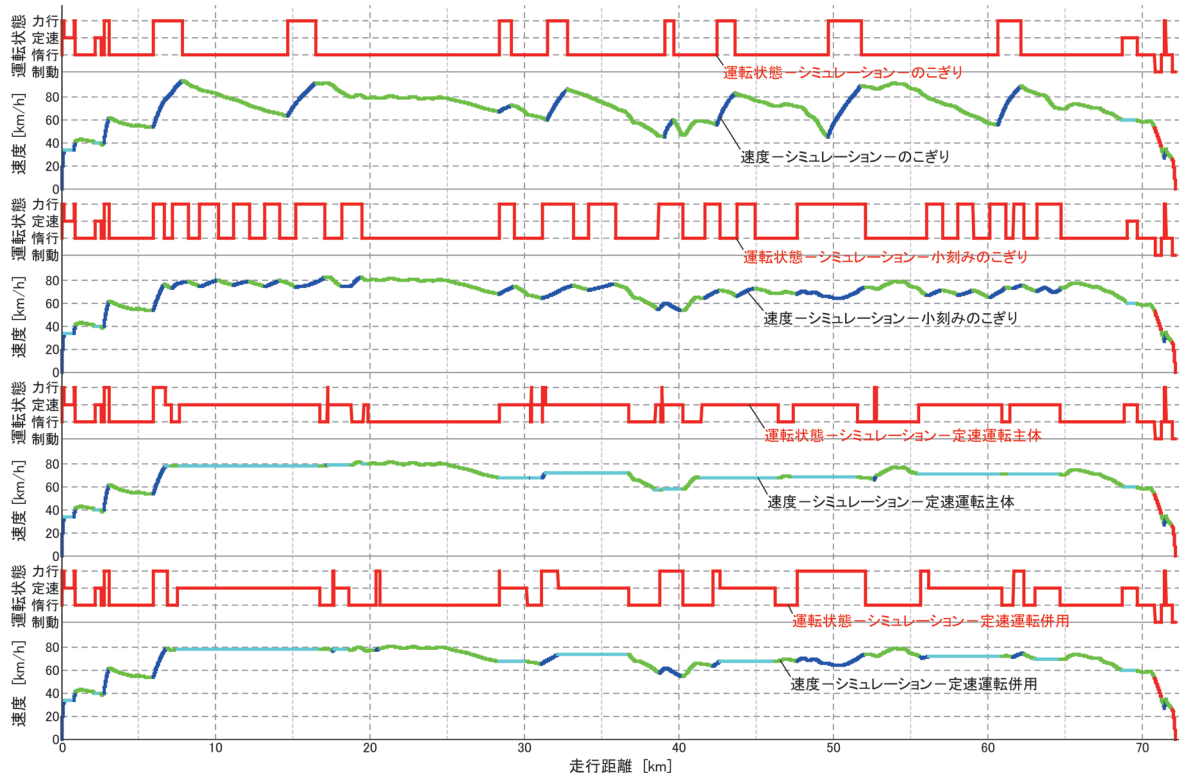


図15 省エネ運転方法毎の速度推移の比較

運転方法が消費エネルギーの観点で望ましいことが明らかになり、かつ運転操縦性を考慮すると定速運転が望ましいと考えている。これより、貨物列車の巡航走行における運転方法として、従来から考えられていた力行と惰行を組み合わせる運転方法でなく、勾配や速度などの運転条件に応じて定速運転と惰行を適度に組み合わせる運転方法を省エネ運転方法として提案する。

今後は、定速運転を促進する運転支援システムを開発し、省エネ運転の実現に向けて取り組んでいく予定である。

## 謝 辞

本研究における走行試験の実施にあたり、日本貨物鉄道株式会社の関係各位には多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 木村幸男, 古賀澄夫: 短区間を比較的高速で走行する通勤形電車の省エネルギー運転方法, 計測自動制御学会論文集, Vol.20, No.4, pp.357-360, 1984
- 2) 電気鉄道における省エネルギー技術調査専門委員会: 交通とエネルギー, 電気学会技術報告, No.597, pp.24-30, 1996
- 3) Gerben M. Scheepmaker, Rob M.P. Goverde, Leo G. Kroon, "Review of energy-efficient train control and timetabling," European Journal of Operational Research, Vol.257, pp.355-376, 2017.
- 4) 小川知行, 吉川岳: 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のシミュレーション検討, 電気学会交通・電気鉄道/フィジカルセンサ合同研究会, TER-18-028/PHS-18-003, pp.15-20, 2018
- 5) 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, Vol.142, No.1, pp.50-57, 2022
- 6) 吉川岳, 小川知行: トンネル内の走行パターンが列車の運動エネルギー損失に与える影響に関する基礎的検討, 電気学会交通・電気鉄道/リニアドライブ合同研究会, TER-17-049/LD-17-058, pp.57-62, 2017
- 7) 宮武昌史, 高英聖, 松田邦彦: 電気鉄道の最小エネルギー運転方法の理論解とその分析, 第13回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2006), 3402, 2006
- 8) 小川知行, 近藤稔, 熊澤一将, 今村洋一, 美濃部晋吾, 川村淳也, 島田直人, 添田正, 杉山義一: 汎用鉄道車両走行エネルギーシミュレータの開発, 電気学会リニアドライブ/交通・電気鉄道合同研究会, LD-14-067/TER-14-030, pp.15-21, 2014