

## 5. 運転支援装置による 省エネルギー運転、回生効果最大化への取り組み

交通システム研究領域 ※長谷川 智紀 林田 守正 竹内俊裕 工藤 希  
理事 水間 毅  
東京大学 古関 隆章  
千葉大学 近藤 圭一郎  
新京成電鉄 濱崎 康宏

### 1. はじめに

鉄道は自動車等に比べて1人当たりのCO<sub>2</sub>排出量やエネルギー消費量が格段に少なく、定時性・輸送力等の面でも優れた交通機関といわれている。

これに資する技術として、電気鉄道の場合、制動によるエネルギー回収を可能とする回生制動の有効活用が重要である。しかし、回生エネルギーの有効活用にはさまざまな技術的課題が存在している。

すなわち、直流電気鉄道の場合、制動時に、その回生電力を吸収してくれる負荷が必要であり、基本的には付近を走行中の列車が力行をしていれば、力行電力をこの回生電力で供給することが可能である。しかし、付近に力行する列車がない場合や、力行していた列車がだ行に切り替わると回生電力の行き場がなくなり、回生失効に至ることとなる。回生失効に至っても、ブレーキ力は機械ブレーキで補われ、安全を損なうことはないものの、省エネルギー性は損なわれることとなる。

そこで、安全性、定時性、速達性を保ちつつ回生ブレーキを最大限有効に働かせることにより効率的な運転を行うことを目的とし、省エネルギー運転を実施するために列車運転士を支援するオンボード運転支援装置の研究を行うこととした。研究にあたっては、鉄道建設・運輸施設整備支援機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」を活用し、平成22年度採択課題「持続可能な低コスト・省エネルギー鉄道のためのパワーマネジメント」において、従前と比較して5%の省エネルギー化を目標に東京大学、千葉大学、新京成電鉄と共に3年間にわたり検討を行った。

本稿では、上記プロジェクトの成果について報告する。

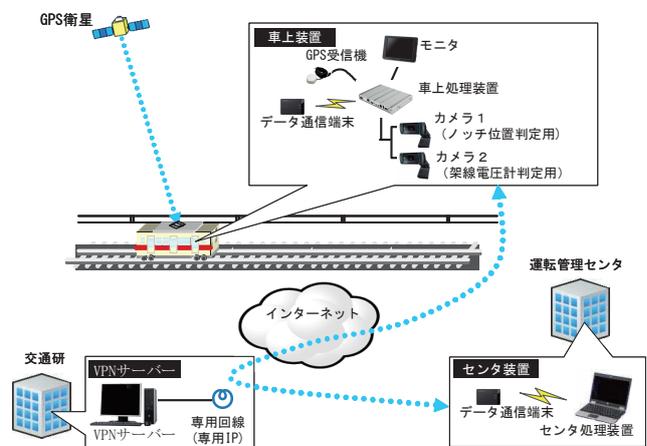


図1 オンボード運転支援装置の構成

### 2. オンボード運転支援装置

#### 2. 1. 装置構成

オンボード運転支援装置の装置構成を図1に示す。本装置は、地方鉄道等のインシャルコストやランニングコストに多く費用をかけることができない鉄道事業者でも導入を可能にするため、低コストでぎ装可能な装置にすることを目標とし、GPS等を利用した位置検知や、簡易なカメラによるノッチ位置及び、架線電圧計の画像解析による列車運転状況の把握、公衆無線を利用した列車間での運行状況の情報伝送等の汎用技術を用いて、回生ブレーキが有効に働き、他車両で電力の消費が可能であるか否か等の解析を行い、必要な運転支援情報を運転士に伝えるものである。

ノッチや電圧計を画像解析により把握（図2）する理由としては、車両の電気回路に手を加えることなく支援装置をぎ装できるようにすることにより、安全性

を損なわず、低コストで実現できるよう考慮したことによる。



図2 力行ノッチの画像解析例

また、公衆回線を用いて運行に係る情報をやり取りするため、VPN 通信による仮想的な専用回線を作り出すことにより、セキュアな通信回線を実現した。

## 2. 2. 支援機能

回生ブレーキを最大限有効に働かせることによる省エネルギー運転を実現するために、運転士を支援する方法として、「力行コントロール機能」と「制動コントロール機能」との2つの機能を用意することとした。

「力行コントロール機能」は、架線電圧が低下している場合において、力行することによる多くのエネルギーを消費することを避けるために、力行を解除（ノッチオフ）し、架線電圧が回復してから再力行することにより、省エネルギー運転を支援する機能である。

力行を解除するにあたっては、鉄道運行の基準となっている標準運転曲線（当該路線で用いるもっとも低い性能の車両で運行可能な運転パターン）より速く加速し、次駅までの余裕時分がある場合において実施することにより、定時性を保つこととした。力行解除の判定は、車両位置が加速区間（力行）に存在しており、その時点での架線電圧と周辺に存在する車両の状態によって機能する。本機能による運転パターンの変化

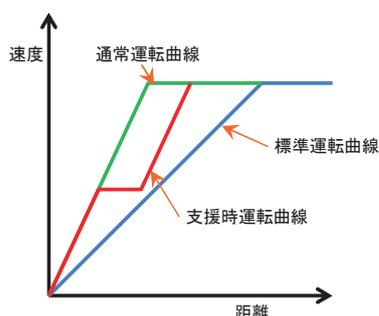


図3 力行コントロールによる運転パターンの変化

を図3に示す。

「制動コントロール機能」は、自列車が制動をかける際に、できる限り回生失効をしないように、速度、架線電圧及び次駅までの走行余裕時分等から予め計算してあるブレーキパターンのデータベースから最適のパターンを提示して、運転士に制動支援を行う機能である。本機能による運転パターンの変化を図4に示す。

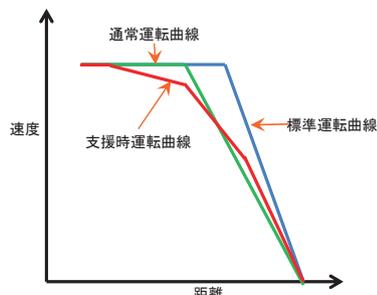


図4 制動コントロールによる運転パターンの変化

ブレーキは通常、回生失効等により予定した制動力が得られない場合、機械制動を立ち上げ制動を行う。そのため、本来得られる回生エネルギーの一部が機械制動による熱エネルギーで捨てられることになる。特に、高速域から回生電力を最大に利用（ブレーキノッチを最大）すると、列車の制動能力によっては、回生電力だけで列車の全制動力を賄いきれず、機械ブレーキの補填を始めから伴ったり、あるいは、他列車の力行電力が徐々に減少したり、自列車との距離が離れていくタイミングと重なると、架線電圧が急激に上昇して、回生失効に至る可能性も大きくなる。そこで、この状況を避けるため、高速域では、弱い制動力（ブレーキノッチを最大としない）として、速度が低下して十分回生制動が効く範囲で制動力を強めるノッチ操作を指示するブレーキパターン（ただし、駅間運転時分を一定とする）をデータベース化した。このデータベースから運転状況に沿った最適な運転パターンが選択され、運転士は、その運転指示（ノッチ）に従って運転するという支援方法である。

## 2. 3. 支援画面

前節の支援機能を実際の運転士への支援装置として実現するに当たり、運転士の受容性の高い支援画面にすることにより、実用化を早めることができると考え、運転士の意見を踏まえた支援画面をデザインした。

支援画面は、運行表立てに置ける大きさである10インチの画面とし、見やすくすることとした。

また、運転中に支援画面を注視することは前方監視の障害につながるため、支援情報を音声においても行うこととした。

支援画面の例を図5に示す。

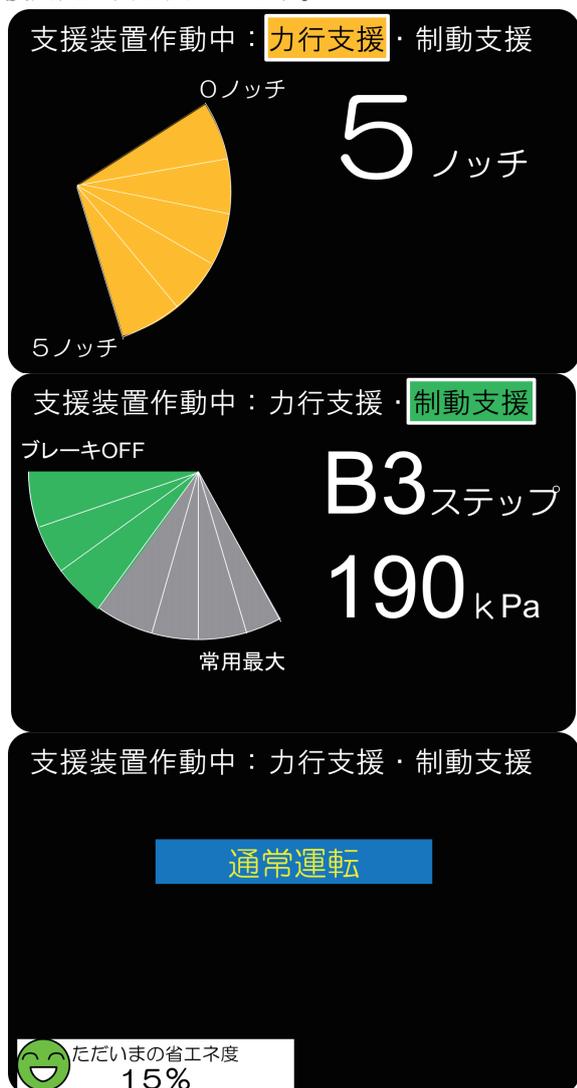


図5 運転支援画面の例

(上：力行支援時、中：制動支援時、下：次駅到着時)

支援画面は、ノッチの段数とともに、制動時にはブレーキの直通管圧力を併せて示すこととした。また、2ハンドル仕様の運転台であったため、各々のハンドルの角度が視覚的に分かるように扇形でハンドルの方向を示すこととした。

また、次駅到着時に駅間走行結果が標準の運転曲線で行った際と比較して、どの程度省エネルギー運転が達成できたかを以下の指標に従い計算した「省エネ度」を%表示とし、運転士に対して省エネルギー運転の度合いを示すこととした。

ここで言う「標準的な運転で使用された電力量」は  

$$\text{省エネ度} = \frac{(\text{標準的な運転で使用された電力量}) - (\text{支援運転で使用された電力量})}{(\text{標準的な運転で使用された電力量})}$$



図6 運行表たてに設置した支援画面

運転士が標準運転曲線に従い運転した際の平均的な電力量である。

図6に運行表たてに設置した支援画面の状況を示す。

### 3. オンボード運転支援装置の営業線における動作確認及び効果評価試験

今回検討をおこなったオンボード運転支援装置は、新京成電鉄の車庫線及び営業線における試運転列車において動作確認及び効果評価を行った。

評価対象区間は、新津田沼～八柱間の上り方向に設定した。試験に用いた車両を図7に示す。

#### 3. 1. GPSによる位置検知状況

列車位置を画面上の地図に表示する機能については、GPS受信機から出力された緯度経度情報をもと



図7 試験車両

に、路線の線形データに基づき列車位置を線路上に補正して表示するマップマッチング補正機能が設けられている。走行試験では、この補正機能により自列車の位置が正しく表示されることを確認した。

新京成電鉄の各駅は橋上駅のように上空が遮へいされている場所が多いため、停車中の測位誤差が大きくなり、結果として補正距離は大きくなっている。た

だし補正結果も良好であることから、運転支援への影響はないと考えられる。

### 3. 2. 画像解析による架線電圧計及び力行ノッチの認識

カメラより 15fps (1 秒間に 15 フレーム) で取り込んだ画像を解析することで架線電圧計及び力行ノッチの状況を認識する手法について、その認識状況の確認を実施した。

当初はカメラを被写体に正対して設置することができなかった影響により、認識精度が予定通り得られなかったが、台形歪み補正処理を行うことにより認識率を向上させることができた。(図 8 参照) 照度不足や外光の影響により認識率が下がることも確認されたが、認識パラメータの変更等で対応可能と考えられる。このことにより、各支援機能を行うための列車運転状況を簡易に取得可能となった。



図 8 台形歪み補正処理状況 (力行ノッチ)

### 3. 3. 支援画面・タイミングの受容性の確認

支援情報や表示タイミングについて、試験車両を担当した 3 名の運転士に聞き取り調査を行い、その受容性について確認を行った。

図 5 の画面は、本プロジェクトの最終段階の画面である。

また、支援タイミングについては、当初、支援タイミングが遅く、駅構内でオーバーラン気味になる傾向があったため、現在位置と速度から予測して支援情報を先出しする機能を加え、運転士への聞き取り調査の結果から判断したタイミングより、2.5 秒の早く支援を行うこととした。その結果、運転士に不安感を与えず円滑に操作できるタイミングで支援を行うことが可能となった。

### 3. 4. 省エネ効果評価

標準運転曲線で走行した際の消費電力量を基準とし、どの程度省エネルギー効果が得られるかを検討した。

ただし、力行コントロールについては、力行中において力行を解除することにより制動コントロールに用いる十分な余裕時間を確保できない場合があることが分かったことから、効果評価の対象から外すこととした。

現車試験の結果、試運転ダイヤのため前方の営業列車との間隔が狭まったことにより信号の影響を受けた箇所や、駅間が短く支援が開始できなかった箇所等一部区間において省エネ効果が得られない箇所が見受けられたが、多くの区間において 20% 程度の省エネルギー効果 (回生電力量の増加) が得られる可能性があることが確認された。

## 4. まとめ

今回、オンボード運転支援装置の研究を 3 年間に渡り実施し、営業線における支援装置の動作確認・効果評価を行った。その結果、当初に目標としていた動作が確認されたとともに、支援画面の運転士への受容性についても十分確保されていることが確認された。

本運転支援装置を用いることにより多くの駅間において回生電力量について約 20% の省エネルギー効果が得られる可能性があることが確認され、本プロジェクト開始当初に設定した目標である従前と比較して 5% の省エネルギー化についても達成可能であると考えている。その結果、これらの結果は、基礎的研究推進制度における事後評価においても高い評価結果を得ることができた。

今後は、本運転支援装置のモニターランを行う体制を整え、評価を引き続き実施していく必要があると考えている。

## 5. 謝意

本研究の実施において、東京大学、千葉大学、新京成電鉄、他多くの関係者に協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

1) 「運輸分野における基礎的研究推進制度」により実施された研究開発課題 (平成 24 年度終了案件) に係る評価結果について

[http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo17\\_hh\\_000031.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo17_hh_000031.html)