

## 列車運転士のオーバーラン防止支援システムに関する研究

日大生産工（院）  
日大生産工

○佐藤 洋康  
綱島 均

日大生産工  
鉄道総研

丸茂 喜高  
小島 崇

### 1. 緒言

鉄道輸送は、自動車と比較して地球環境への負荷が低い反面、一度に多くの人員を輸送する性質上、より一層の安全性が求められる。最近発生した脱線事故に着目すると、運転士の運転以外への注意により生じた速度超過によるものなどのヒューマンエラーに起因する部分が多い。列車運転におけるヒューマンエラーをバックアップするシステムとして、自動列車停止装置（ATS：Automatic Train Stop）などがあげられる。これらの装置により、ヒューマンエラーが発生した場合でも、事故を未然に防ぐことができる。しかし、ATS が作動しないような軽微なオーバーランは、それ自体は直接事故を引き起こすものではないが、停止位置を修正することによるダイヤの遅れやオーバーランした事実が運転士のプレッシャーとなり、重大な事故を引き起こす要因となる可能性が考えられる。自動列車運転装置（ATO：Automatic Train Operation）や定位置停止装置（TASC：Train Automatic Stopping Controller）などの定位置に停止させる装置があるが、導入には高額な費用が必要であるなどの点から導入が困難である。

そこで本研究では、リアルタイムに運転士に支援を行うことで、駅停止時などの目標停止位置に対するオーバーランを抑制させることをねらいとする。ここでは、駅停止時に運転士に対して、現在の減速度を維持した際に予想される停止位置を視覚的に呈示し、運転士の認知・判断に対する支援を行うことで、オーバーラン抑制効果について運転シミュレータを用いた実験により検討する。

### 2. 運転支援システム

本研究で用いる支援システムは、運転士がブレーキ操作を行ったときに、現在の車両速度と減速度の関係から列車の予想停止位置をリアルタイムに表示するシステムである。予想停止位置が図1のように線路上に表示されることによって運転士の認知を支援する。また、現在の減速度を維持した際に、予想停止位置が目標停止位置を超えてしまう場合には予想停止位置を赤色の枠で呈示し、目標停止位置の手前で停止してしまう場合には予想停止位置を青色の枠で呈示することにより、ブレーキ操作の判断の支援も行うことが可能である。図2は予想停止位置を模式的に表したもので、車両速度を  $v(t)$ 、減速度を  $\alpha(t)$  とすると、予想停止位置までの距離  $D(t)$  は(1)式のように表わされる。

$$D(t) = \frac{v^2(t)}{2\alpha(t)} \quad (1)$$

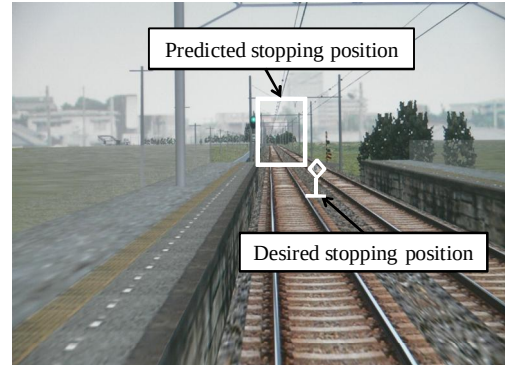


Fig.1 Image of predicted stopping position

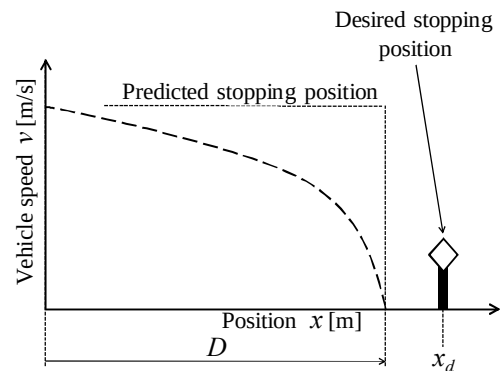


Fig.1 Schematic diagram of predicted stopping position

### 3. 実験方法

本研究では、列車の運転を模擬した列車運転シミュレータ<sup>1)</sup>を用いて実験を行なった。このシミュレータは定位置型であるため、加速度などの体感情報は得られないが、2台のプロジェクタによって立体視による前方視界の映像を生成していることを特徴としている。

被験者は、運転資格はないが運転シミュレータの運転に慣れた20代男性7名（被験者A～G）で行なった。運転課題は、実路線を模擬した4駅の間（それぞれの駅間を第1区間から第3区間とする）を運転し、各駅にある目標停止位置に列車を停止するものである。列車速度は、実路線の規定速度とした。

運転中の心的負荷を想定して暗算課題（3秒毎に音声で呈示される1桁の数字に対して、新たに呈示された数字を足し合わせて、一の位を回答する）を行うものとした。実験では、列車が規定速度に達し、惰性走行を始めた時点で暗算課題を開始し、次の駅に停止した際に終了とした。

## 4. 実験結果

### 4.1. 予想停止位置とハンドル操作の推移

駅停止時における、運転士の認知と操作に関する指標として、現在の減速度を維持した場合の予想停止位置とブレーキ操作の推移について検討する。ここで、一例として、被験者Aの第1区間の結果について示す。

図3に目標停止位置までの距離に対する予想停止位置の推移を示す。横軸は目標停止位置までの距離を示しており、目標停止位置の手前を負とした。縦軸は予想停止位置であり、目標停止位置をゼロとし、現在の減速度を維持すると目標停止位置を超えて停止する場合を正、手前で停止する場合は負とした。実線は支援システムを用いた場合、破線は支援システムを用いない場合の結果を示している。この図より、支援システムを用いない場合では、予想停止位置が目標停止位置を越えて、減速が十分でない状況が存在しているのに対し、支援システムを付加すると、予想停止位置は、目標停止位置へ負の値から徐々に推移しており、予想停止位置が目標停止位置を越える状況がほとんど見られなかった。

次に、目標停止位置までの距離に対するブレーキ操作の推移を図4に示す。横軸は目標停止位置までの距離を示している。縦軸はハンドル操作を表しており、数値が高くなるほど強い減速度が発生する。この図より、支援システムの有無によってブレーキの開始地点に差は見られないが、支援システムを用いない場合には、ブレーキを緩めるのが早く、十分な減速が行えないため、目標停止位置付近でブレーキのかけ増しを行って停止している。一方、支援システムを付加すると、最初に強いブレーキを掛けた後に徐々にブレーキを緩めて目標停止位置に停止していることが確認できる。

他の被験者、区間でも同様の傾向がみられたことから、暗算課題を行っている場合において、支援システムを用いることにより、ブレーキ操作が円滑に行われていることが確認できる。

### 4.2. ブレーキ変化量による評価

運転支援システムの有無によるブレーキ操作の定量的な評価を行うため、運転士の異常検出の目的で考案された手法<sup>2)</sup>を適用する。これは、一度に操作するブレーキハンドルの変化量による評価法である。ブレーキ変化量が負の値であればブレーキを緩める操作に対応し、正であればブレーキを強める操作を表す。また、変化量が大きくなるほど、一度に動かすブレーキハンドルの変動が大きくなることを示す。一回あたりのブレーキ変化量を  $u_k$  (ただし、 $k=1, 2, 3, \dots$ )、ブレーキ変化量の平均を  $\bar{u}$  とすると、ブレーキ変化量の二乗平均誤差は以下のように定義できる。ここでは分散の平方根をとり標準偏差を評価する。

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (u_k - \bar{u})^2 \quad (2)$$

ここで、全被験者における支援システムの有効性を検証するため、支援システムの有無による比較を行った。被験者7名の2走行をもとに算出した標準偏差の平均値を図5に示す。図5より、全区間において支援システムの有無で有意な差が確認され、支援システムを用いた場合には、支援システムを用いない場合に比べ、ブレーキ変化量の標準偏差が低減していることから、ブレーキ操作がより円滑に行われており、支援システムの有効性が確認できた。

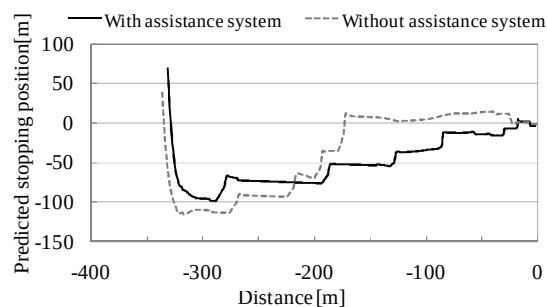


Fig.3 Transition of predicted stopping position (Subject A, Section 1)

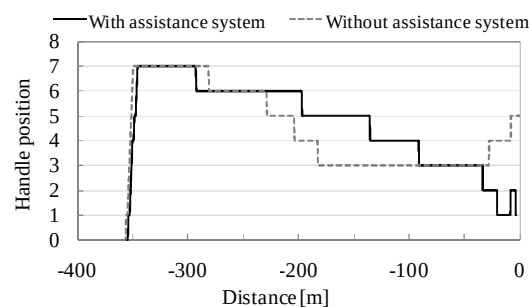


Fig.4 Transition of brake handle position (Subject A, Section 1)

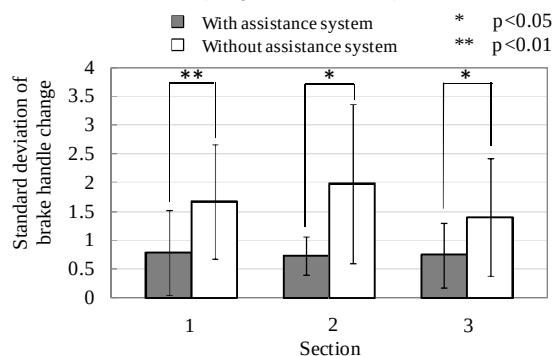


Fig.5 Standard deviations of brake handle change

## 5. 結言

本研究では、列車運転シミュレータ上に駅停止支援システムを構築し、駅停止支援システムの有効性を検証した。支援システムを用いない場合にはブレーキ操作が段階的に行われず修正操作を行っていたが、支援システムを付加すると心的負荷がある条件においてブレーキ操作が円滑に行われ、支援システムの有効性が確認できた。

本研究の一部は、科学研究費若手研究(B)21710171「列車運転士の認知・判断支援によるオーバーラン抑制」の補助を受けた。

### 「参考文献」

- 1) 網島均, 小島崇, 塩澤友規, 高田宗樹: 人間-機械系評価用 列車運転シミュレータの開発と脳機能測定への適用, 信頼性, Vol.26, No7, (2004), pp.626-627.
- 2) Marumo, Y., Tsunashima, H., Kojima, T. and Hasegawa, Y.: Analysis of Braking Behavior of Train Drivers to Detect Unusual Driving, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol.3, No1, (2010), pp.338-348.