

2310 列車運転士の駅停止支援システムに関する研究

正 [機] 丸茂 喜高 (日大) 学 [機] ○佐藤 洋康 (日大)

正 [機] 網島 均 (日大) 正 [機] 小島 崇 (鉄道総研)

Braking Assistance System for Train Drivers

Yoshitaka MARUMO, Nihon Univ., 1-2-1 Izumi-cho, Narashino-shi, Chiba

Hiroyasu SATO, Nihon Univ.

Hitoshi TSUNASHIMA, Nihon Univ.

Takashi KOJIMA, RTRI, 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo

This study examines the braking assistance system for train drivers when stopping at a station. The assistance system informs a driver visually of a predicted stopping position based on present vehicle velocity and deceleration. Trains-driving simulator experiments are examined with several subjects who are required train driving with mental calculation assumed mental workload. Subjects with the assistance system can operate brake handle smoothly, while subjects without the assistance system repeat modified braking operations.

Keywords: Train Driver, Overrun, Braking Assistance System, Braking Behavior, Mental Workload

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といえる。列車運転において、ヒューマンエラーをバックアップするシステムとしては、自動列車停止装置(ATIS)や自動列車制御装置(ATC)などがあげられる。これらの装置により多くのヒューマンエラーを防ぐことができる。しかし、ATIS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、その後のダイヤの遅れやオーバーランした事実が運転士に心的な負荷を作用させ、重大な事故を引き起こす要因となることが考えられる。

オーバーランを防止するために運転士の支援を行うシステムとしては、GPSを利用し、位置情報を取得し運転士に注意喚起を行う運転支援システム⁽¹⁾や、線路と列車に情報を送受信する装置を設置し、運転士に停止位置を指示することなどにより駅停止を支援するもの⁽²⁾、駅のホームにカメラを設置し、駅の所定の停止位置へ停止できているかを判断し、運転士などに報知し駅停止を支援するもの⁽³⁾などがある。しかし、これらの支援装置は、ブレーキ操作を開始する大まかなタイミングを知らせたり、列車の編成数により異なる停止位置をブレーキ開始前に警告したり、停止後に編成数に応じた停止位置に停止しているかを運転士などに報知するものであり、列車を停止させるのは最終的に運転士に委ねられており、その部分の支援が行われていないため、オーバーランを根本的に防止する技術ではない。

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. 駅停止支援システム

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。

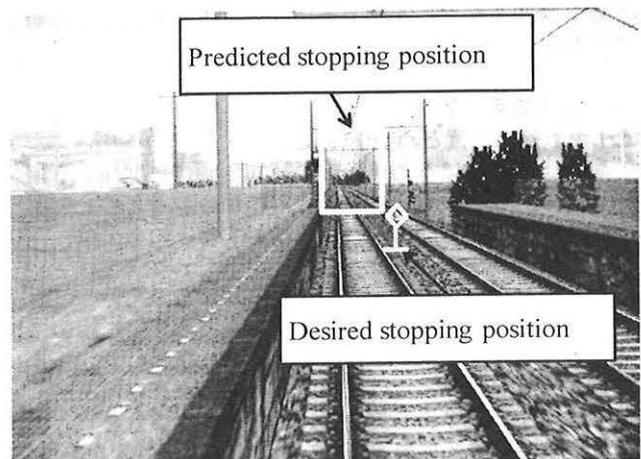


Fig.1 Image of predicted stopping position

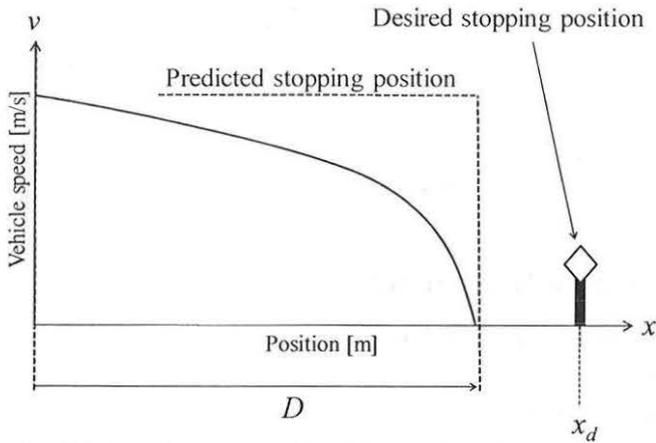


Fig.2 Schematic diagram of Predicted stopping position

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)式のように表される。

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

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⁽⁴⁾を用いて実験を行なった。図3に列車運転シミュレータの外観を示す。このシミュレータは定置型であるため、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なれた20代男性被験者5名で行なった。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、新たに提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。

暗算課題をかけた状態で支援システムありとなしの順で実験を2走行ずつ行った。

4. 実験結果

4.1 予想停止位置とハンドル操作

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。ここでは、一例として、被験者Aの第2区間の結果について示す。

図4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あり、破線は支援システムなしの結果を示している。この図より、支援システムなしの場合には予想停止位置は負と正

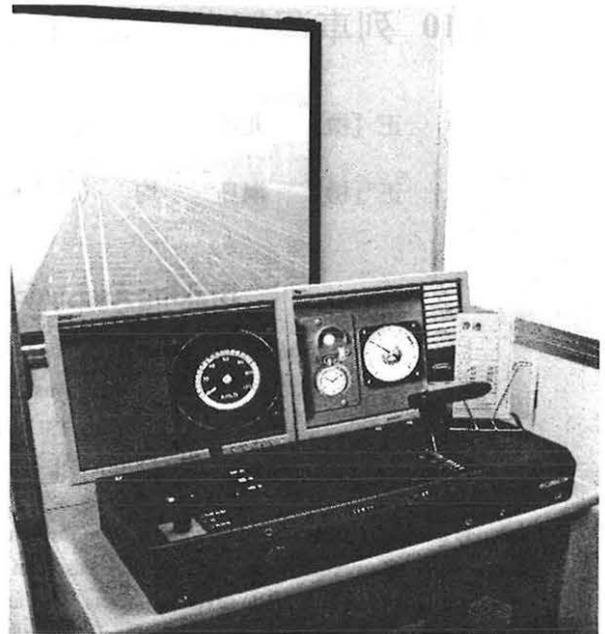


Fig.3 Overview of train-driving simulator

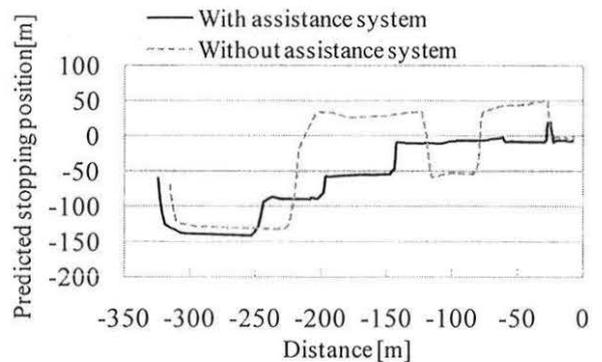


Fig.4 Predicted stopping position (Subject A, Section 2)

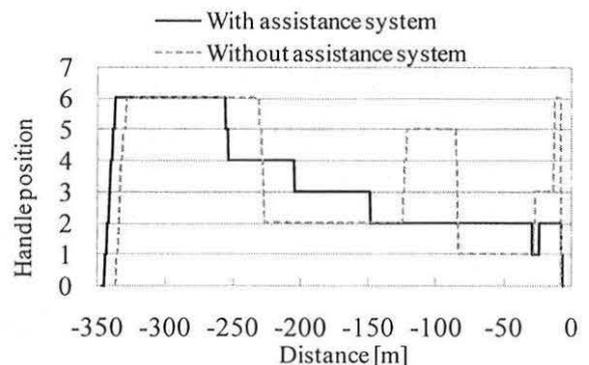


Fig.5 Handle position (Subject A, Section 2)

を行き来しているが、支援システムありの場合には予想停止位置は負から徐々に目標停止位置へ停止している。

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5に示す。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ブレーキがかかる。図5より、支援システムがない場合には、ブレーキ操作の修正を繰り返す、目標停止位置付近で再びブレーキの掛け増しを行い、停止しているが、支援システムありの場合には、

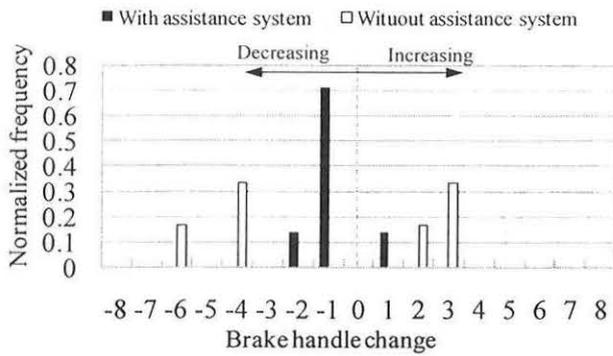


Fig.6 Histogram of brake operation variation

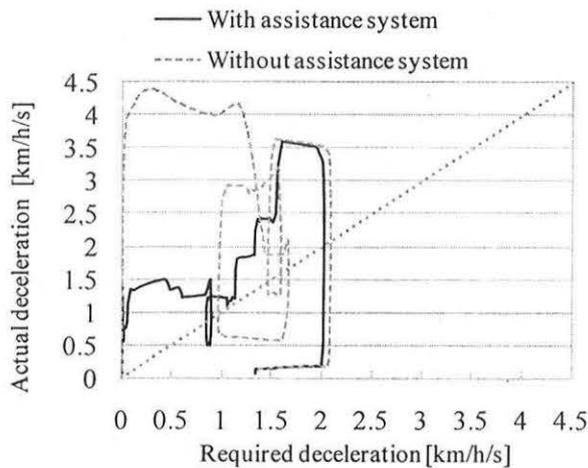


Fig.7 Relation between required and actual decelerations

ブレーキ操作は、最初に強いブレーキをかけた後、徐々にブレーキを緩めていき、目標停止位置へ停止している。

以上のことから、心的負荷がかかった場合でも、支援システムによりブレーキ操作が円滑に行われていることから支援システムの有効性が確認された。

4.2 ブレーキ操作の評価

運転支援システムの有無によるブレーキ操作の評価を行うために、運転士の異常検出の目的で考案された二つの手法⁽⁵⁾を適用する。これらは、一度に操作するブレーキ操作量をヒストグラムで表す方法と、所定の位置に停止するために必要な減速度と現在の減速度を比較する方法である。

図6に、被験者Aの第2区間での度数を正規化した1回あたりのブレーキ操作量のヒストグラムを示す。横軸をブレーキの操作量とした。縦軸はその頻度を表したものである。ノッチの変化量が負の値であればブレーキを緩める操作であり、正であればブレーキを強める操作である。また、ノッチの変化量が大きくなるほど、一度に動かすノッチハンドルの変動が大きくなることを示す。一度に動かすノッチハンドルの変動が大きくなることで減速度の変動も大きくなり乗り心地は悪くなることからノッチハンドルの変動は小さいことが望ましい。

図6より、白棒は支援システムなし、黒棒は支援システムありを示している。支援システムなしの場合は、-4や3などの大きなノッチの変化量の頻度が高い。これより、急激なブレーキ操作が行われていることがわかる。

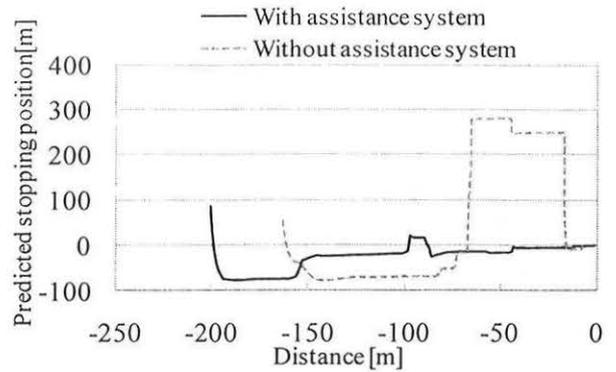


Fig.8 Predicted stopping position (Subject A, Section 3)

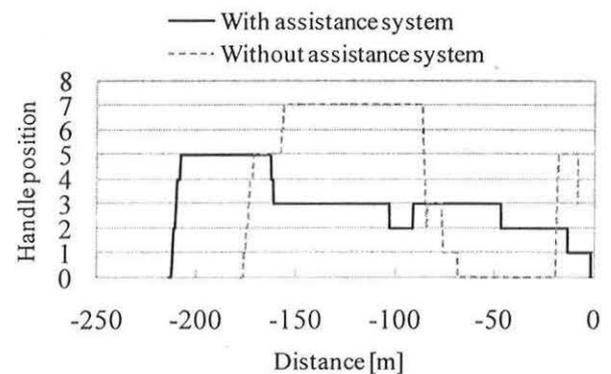


Fig.9 Handle position (Subject A, Section 3)

支援システムありの場合のブレーキ操作は7割以上が1段階ずつブレーキを緩める-1が顕著であることから、緩やかなブレーキ操作を行っているといえる。

次に、所定の位置に停止するために必要な減速度（以下、所要減速度と呼ぶ）と実減速度の関係からブレーキ操作の評価を行う。 $x(t)$ 地点での速度を $v(t)$ 、目標停止位置を x_d とすると、所要減速度 $\alpha_r(t)$ は(2)式のように表される。

$$\alpha_r(t) = \frac{v^2(t)}{2(x_d - x(t))} \quad (2)$$

図7に所要減速度と実減速度の関係を示す。横軸を所要減速度、縦軸を実減速度とした減速度軌跡である。斜線は所要減速度と実減速度が等しくなる点であり、運転士は実減速度を所要減速度に近づけるように運転していると考えられる。図7より、支援システムなしでは、ブレーキの修正操作を行っているため斜線の上で円を描くように推移し、支援システムありでは、ブレーキをかけ始めてから滑らかな減速を行っているため、徐々に斜線に向かって推移している。

以上の結果から支援システムありの場合には、なしの場合に比べ段階的に円滑なブレーキ操作を行っており、このことから支援システムの有効性が確認できる。

4.3 他の条件における結果

ここでは、前節までに得られた結果が、他の条件においても同様であるかを確認するために、他の駅や他の被験者の結果を検討する。

まず、被験者Aの他の区間である第3区間の予想停止位置とブレーキ操作に関する結果を図8および図9に示

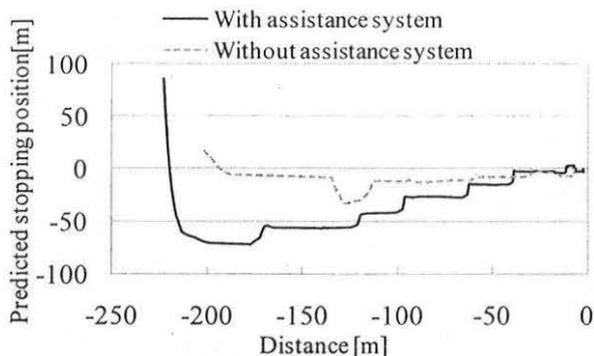


Fig.10 Predicted stopping position (Subject B, Section 2)

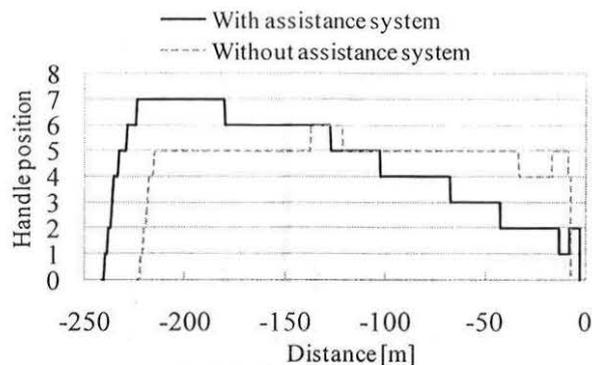


Fig.11 Handle position (Subject B, Section 2)

す。図 8 の予想停止位置の推移より、支援システムなしの場合には予想停止位置は負から正へ大きく推移し、目標停止位置へ停止している。支援システムありの場合には、予想停止位置は負側を推移しており、徐々に目標停止位置へ近づき、目標停止位置へ停止している。また、図 9 のブレーキ操作の推移より、支援システムなしの場合には強いブレーキをかけ、その後、修正を繰り返す、目標停止位置付近でブレーキをかけ増し、目標停止位置へ停止している。支援システムありの場合には、徐々にブレーキを緩め、目標停止位置へ停止している。

次に、他の被験者である被験者 B の第 2 区間の予想停止位置とハンドル操作のそれぞれの推移を図 10 および図 11 に示す。図 10 の予想停止位置の推移より、支援システムなしの場合には予想停止位置は目標停止位置付近を推移しており、支援システムありの場合、予想停止位置は負から徐々に目標停止位置へ推移し、停止している。図 11 のブレーキ操作の推移より、支援システムなしの場合には、はじめに強くブレーキをかけ、そのまま大きな減速度を維持し、目標停止位置へ停止しているのに対して、支援システムありの場合には、徐々にブレーキを緩め、目標停止位置へ停止している。

以上の結果から、駅や被験者によらず予想停止位置徐々に目標停止位置へ近づいており、ブレーキ操作が段階的に行われていることから支援システムの有効性が確認された。

また、これら以外の条件においても、定量的な差はあるものの、定性的には同様の傾向が確認された。

5. 結言

本研究では、列車運転シミュレータに駅停止支援システムを付加し、運転操作にどのような影響があるのかを検討した。実験結果より、支援システムがない場合にはブレーキ操作が段階的に行われず修正を繰り返していたが、支援システムを付加すると心的負荷がある条件でもブレーキ操作は円滑に行うことができた。

今後の課題として、被験者を増やすことや、予想停止位置の効果的な表示形態（形や色など）の検討を行うことがあげられる。

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」の補助を受けています。また、実験およびデータ解析を行うにあたり、日本大学生産工学部機械工学科増永雄一君に協力いただいた。記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 番匠谷隆, 仲尾浩 : 鉄道における GPS を利用した「運転士支援システム」, 自動車技術, Vol.63, No.2, pp.108-111, 2009
- 2) 服部桂吾, 植田一浩 : 列車の定位置停止支援装置, 公開特許公報, 特開平 11-78883, 1999
- 3) 小沼知恵子, 小林芳樹, 列車の定位置停止支援装置 公開特許公報, 特開 2004-136754, 2004
- 4) 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, pp.626-627, 2004.
- 5) Hasegawa, Y., Marumo, Y., Tsunashima, H., Kojima, T : ANALYSIS OF BRAKING BEHAVIOR FOR TRAIN DRIVER' S TO DETECT UNUSUAL DRIVING, The International Symposium on Speed-up, Safety and Service Technology for Railway and Maglev Systems, pp.254-255, 2009