

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710171

研究課題名(和文) 列車運転士の認知・判断支援によるオーバーラン抑制

研究課題名(英文) Assisting Recognition and Judgement of Train Driver to Prevent Overrun

研究代表者

丸茂 喜高 (MARUMO YOSHITAKA)

日本大学・生産工学部・講師

研究者番号：00409088

研究成果の概要(和文)：本研究では、駅停車時のオーバーランを防止するため、列車運転士に対してブレーキ操作を支援するシステムを提案した。提案した支援システムは、列車の速度と減速度から予想される停止位置を視覚的に運転士に呈示を行うものである。列車運転シミュレータを用いて、被験者に対して心的負荷をかけながら列車運転を行う実験を行った。システムがある場合にはブレーキ操作が円滑になるが、システムがない場合にはブレーキの修正操作が確認された。

研究成果の概要(英文)：This study proposes the braking assistance system for train drivers to prevent an overrun at a station. The assistance system informs a driver of a predicted stopping position calculated by vehicle velocity and deceleration. Train-driving simulator experiments are examined with several subjects who are required train driving with mental workload. The assistance system makes it possible to operate the brake handle smoothly, while drivers without the assistance system repeat modified braking operations.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2010年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |

研究分野：機械力学，制御工学，人間工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 社会システム工学・安全システム

キーワード：列車運転士，運転支援システム，オーバーラン，ブレーキ操作，メンタルワークロード，ヒューマンインタフェース，運転シミュレータ，安全システム

1. 研究開始当初の背景

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、車両や軌道等に異常は確認されず、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や、自然災害によるものであっても、悪天候時の運行の判断等を考慮すれば、広義でヒ

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(ATS)や自動列車制御装置(ATC)などがあげられる。これらの装置が設置されていない場合や、何かしらの不具合が発生した場合には、運転士のエラーが直ちに事故に結びつく可能性がある。

これまでの研究により、駅停止時に列車運

運転士が認知している情報と運転操作との関係を解析したところ、現在の車両の減速度から停止できる速度の予測を行い、実際の車両速度との速度偏差を認知してブレーキ操作を行っていることが明らかになった。さらに、この認知量と運転士のブレーキ操作量の関係を調べることで、正常な状態と比較して、運転士に心的な負荷を与えた異常な状態を検知できることを明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では、運転士の異常状態の検出から一歩進めて、運転士に積極的な支援を行うことで、駅停車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。ATSが作動しないような軽微なオーバーラン自体は、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り運転時分に余裕がなくなることが、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。ここでは、駅停車時に運転士に対して、現在の車両減速度を維持することで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、ブレーキ操作の円滑化やオーバーラン抑制効果について検討する。

3. 研究の方法

本研究で提案する駅停車支援システムは、運転士がブレーキ操作を行った際に、現在の車両の速度と減速度の関係から予想される列車の停止位置をリアルタイムに視覚的に呈示するものである。図1に、予想停止位置の模式図を示す。前方の視界に予想される停止位置を仮想的に表示することにより、運転士の認知に対する支援を行う。さらに、現在の減速度を維持した場合に、予想停止位置が目標停止位置を越えてしまう場合には、予想停止位置を赤色で呈示し、目標停止位置の手前で停止する場合には、予想停止位置を緑色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。

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を用いて実験を行う。図2に、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、被験者が偏光眼鏡を着用することで、立体視による前方視界の映像を生成していることを特長としている。また、シミュレータ上に再現した予想停止位置の呈示イメージを図3に示す。

被験者は、実際の列車の運転資格はないが、本シミュレータの運転に習熟した20代男性7名（被験者A～G）を採用した。

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

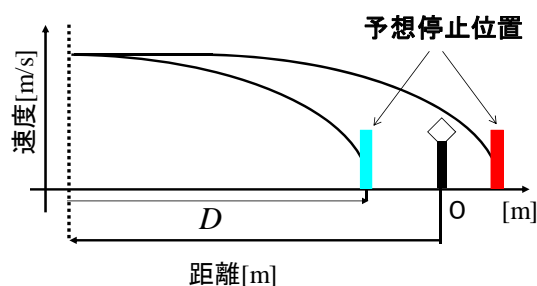


図1 予想停止位置の模式図



図2 列車運転シミュレータの外観

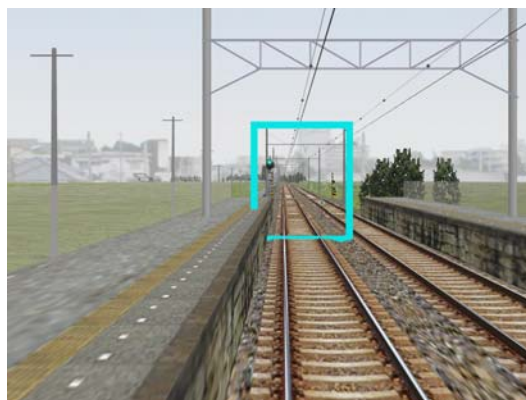


図3 予想停止位置の呈示イメージ

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とした。列車の速度は、実路線の規程速度として、本走行を行う前に十分な練習走行を行った。

オーバーランは、心的な負荷がかかっている状況で発生しやすいことから、運転中に心的負荷を想定した副次課題を与える。実際の運転では、様々な要因により心的負荷がかかることが考えられるが、ここでは心的負荷を

一定にするために、副次課題として代表的な暗算課題を用いることとする。本研究で用いた暗算課題は、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、1の位を回答するものである。この暗算課題を、駅を発車して加速が終了後、惰性走行に入ってから駅停止までの間、被験者に課した。運転課題と暗算課題の優先順位については、列車を所定の位置に停車させることを第一優先とした上で、可能な限り暗算課題に回答することとした。

各被験者は、支援システムの有無の2条件について、それぞれ2走行ずつ行った。

4. 研究成果

駅停止時における、運転士の認知と操作に関係する指標として、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1区間における結果を示す。

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を負とした。この図より、支援システムがない場合には、予想停止位置は、大きな負の値から正の値に推移し、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する。しかし、支援システムを用いた場合には、予想停止位置は大きな負の値から徐々に目標停止位置へ近づいていき、予想停止位置が目標停止位置を越える状況がほとんどないことが確認できる。

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。縦軸はブレーキハンドルの位置を表しており、数値が高くなるほど強いブレーキがかかる。常用ブレーキが1～7で、非常ブレーキが8に対応している。図5より、支援システムの有無によらず、ブレーキをかけ始めるタイミングに大きな違いは見られないが、支援システムがない場合には、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、支援システムを用いた場合には、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ながら、目標停止位置へ停止していることが確認できる。

以上のことから、暗算課題を行っている場合でも、支援システムにより、ブレーキ操作が円滑に行われて、余裕を持って減速していることが確認できる。その他の被験者やその他の区間においても、同様の傾向が確認された。

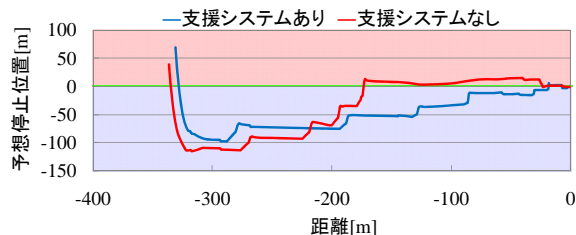


図4 予想停止位置の推移

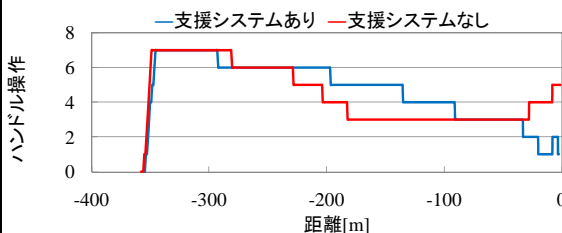


図5 ブレーキハンドル操作の推移

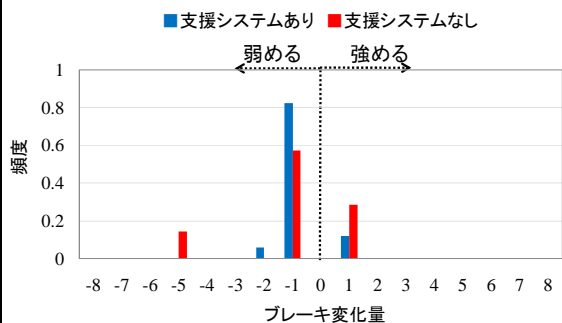


図6 ブレーキ変化量のヒストグラム

次に、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、一回あたりの操作でブレーキハンドルを何段階変化させたか（変化量）について検討した。

ブレーキを緩める場合の変化量を負、ブレーキを強める変化量を正として定義する。例えば、ブレーキを一度に一段階緩めた場合には変化量は-1、一度に三段階強めた場合には3となる。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。変動が大きくなることで減速度の変動も大きくなり、乗り心地が悪くなることから、ブレーキハンドルの変動は小さいことが望ましい。

被験者Aの第1区間におけるブレーキ操作について、ブレーキ変化量のヒストグラムを図6に示す。同図には、2走行分のブレーキ変化量の結果が示されている。横軸は一回あたりのブレーキ変化量を示しており、縦軸は正規化した頻度を表したものである。この図より、支援システムがない場合は、大きなブレーキ変化量の頻度が高いことから、比較的急なブレーキ操作が行われていることが

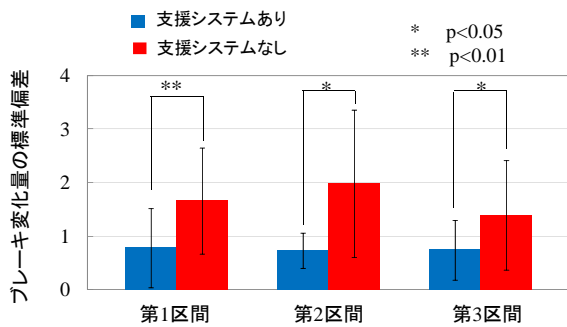


図7 ブレーキ変化量の標準偏差

わかる。支援システムありの場合のブレーキ操作は、1段ずつブレーキを緩める頻度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ことが確認できる。

次に、定量的な評価を行うために、ブレーキ変化量のばらつきを調べる。ここでは、ブレーキ変化量の平均に対する各ブレーキ変化量の二乗平均誤差を求めて、平方根をとった標準偏差について評価を行う。なお、ここでの分散および標準偏差の意味は、平均的な変化量に対するばらつきであり、平均的な変化量そのものの大きさには依存しない。

各区間について、ブレーキ変化量の標準偏差の全走行データの平均値を図7に示す。この図より、これらの結果より、運転支援システムを用いることで、ブレーキ変化量の標準偏差が減少し、ブレーキ操作のばらつきが低減していることが確認できる。同図には、支援システムの有無による有意差検定を行った結果も示されている。全区間において、支援システムの有無による有意な差が確認され、支援システムを用いることにより、ブレーキ変化量の標準偏差が有意に低減することが確認された。

上記の結果から、本研究で提案した運転支援システムを用いることで、心的負荷がかかった状態でもブレーキ操作を円滑に行うことが可能となり、オーバーランに対するリスクを低減することができた。しかし、予想停止位置の計算は、等加速度運動を仮定していたが、実際の列車運転においては、乗客の乗り心地等の関係から、目標停止位置に近づくにつれて、ブレーキ操作を徐々に緩めることが一般的である。そこで、予想停止位置の算出方法はそのまま、減速度が一定で減少する条件を考慮して、従来緑色で表示された領域の中で、目標停止位置の手前で止まれるものの減速度が緩められない領域を黄色で表示するシステムについて検討した。その結果、緑色と赤色の2色で表示していたシステムに対して、黄色を追加した3色で表示した方が、ブレーキ操作がさらに円滑に行われることを確認した。

これらのことから、列車運転士に対して心的負荷が作用するような状況下でも、本研

究で提案した運転支援システムを用いることで、通常の状態と同様に徐々にブレーキ操作を弱めながら、所定の位置に停止することが可能となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 丸茂喜高, 佐藤洋康, 綱島均, 小島崇, 列車運転士の駅停止支援システムに関する研究(予想停止位置呈示による運転士の認知・判断支援), 日本機械学会論文集C編, 査読有, Vol. 76, No. 770, 2010, pp. 2500-2507

〔学会発表〕(計3件)

- ① 丸茂喜高, 列車運転士の駅停止支援システムに関する研究, 第16回鉄道技術連合シンポジウム(日本機械学会), 2009年12月3日, 国際オリンピック青少年総合センター
- ② Y. Marumo, Braking Assistance System for Train Drivers by Indicating Predicted Stopping Position, SICE Annual Conference 2010, 2010年8月19日, The Grand Hotel (台湾)
- ③ 丸茂喜高, 駅停止時のブレーキ操作支援システムに関する研究, 日本機械学会2010年度年次大会学術講演会, 2010年9月6日, 名古屋工業大学

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: 運転支援システム、運転支援方法、運転支援プログラム

発明者: 丸茂喜高、綱島均

権利者: 日本大学

種類: 特許

番号: 特願2009-190509(特開2011-045167)

出願年月日: 2009年8月19日(2011年3月3日)

国内外の別: 国内

〔その他〕

- ① 丸茂喜高: 電車の運転を支援する、日本機械学会関東支部ニュースレター「メカトップ関東」、No. 27, pp. 6 (2010)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸茂 喜高 (MARUMO YOSHITAKA)

日本大学・生産工学部・講師

研究者番号: 00409088