

3608 列車運転士の覚醒度向上に関する研究

A study on arousal level improvement of train driver

○学 小島 崇 (日本大学大学院) 正 綱島 均 (日本大学)

Takashi KOJIMA, Nihon University, 1-2-1 Izumicho, Narashino-shi, Chiba 275-8575
Hitoshi TSUNASHIMA, Nihon University

The railway accidents caused by human errors don't disappear at present. Decline of the train driver's arousal level has the possibility to cause it. The new type of operation support system to retain the arousal level should be necessary. It is important to grasp driver's gaze shift first to prevent human errors. We developed a train simulator to analyze the gaze shift and the drive behavior. Experiments to analyze the driver's behavior are carried out by using the developed train simulator. It is shown that the simulator is effective for obtaining driver's behaviors.

Key Words: Sleepiness, Gaze shift, Human error, Simulator, Railway

1 はじめに

鉄道運転事故は、運転保安設備の整備などによって減少してきているが、最近でも列車乗務員のヒューマンエラーに起因する事故は少なくない。

列車の運転は、自動車の運転と比較して次のような特徴を有している。

- (1) 横方向の制御がない
- (2) 定められた区間の往復運転を行う
- (3) 勤務編成が不規則である

これらの特徴から、エラーの原因として覚醒度の低下が考えられる。ヒューマンエラーの事故防止対策として、鉄道会社では、乗務員の教育・訓練が行われている。また、自動列車停止装置(ATS)などのバックアップシステムを採用してきた。一部の鉄道では、自動列車運転装置(ATO)を導入し、乗務員は基本を監視作業として運転を完全に自動化させている事例もある。しかし、監視作業は覚醒度の低下が懸念される。自動車分野では、ドライバの生体反応や運転挙動から居眠りを検知し、警告を与える居眠り警報装置が研究されている¹⁾²⁾。鉄道においては、運転士の覚醒度保持に関する基礎的研究が行われているが、積極的な運転支援にまで至っていない。列車運転におけるヒューマンエラーを防止するために、運転士の生体情報を計測し、覚醒度を保持するための新しい運転支援システムが必要であると考えられる。

ヒューマンエラーを防止するためには、運転士がどのような情報を取得し、それにもとづいてどのような行動をするかを把握することが重要となる。列車の運転は、視覚による情報収集が大きい³⁾。そこで本研究では、運転士の注視行動を計測し、運転行動の分析を行う。計測を様々な条件のもとで行うためには、運転シミュレータが必要になる。本論文では、シミュレータの開発について述べ、本装置を用いて運転行動を分析した結果について報告する。

2 運転シミュレータの開発

開発した運転シミュレータのシステム構成を図1に示す。本装置は、車両制御コンピュータ、コントローラ、パネル表示モニタ、スピーカの車両再現部と、視界生成コンピュータ、プロジェクタ、スクリーンの視界再現部、指令コンピュータから構成される。被験者はコントローラを操作し、前方の80インチスクリーンの視界映像と5台のスピーカからの音響によって運転環境を得る。視界画像はコンピュータグラフィクスであり、水平画角は44度である。運転台パネルは、2台の液晶モニタ上に表示することで、多様な計器の模擬を可能にした。本装置は、モーションベースを備えていなが、視覚的に揺れを与えている。すなわち、軌道不整と9自由度の車両運動モデルにより車体の振動を計算し、スクリーンの視界画像を相対的に揺らすことにより、車体が揺れているような感覚を人工的に与えている。また、異常時の生体反応を計測するために、計測者が指令コンピュータから、信号現示の変化や直前横断、車

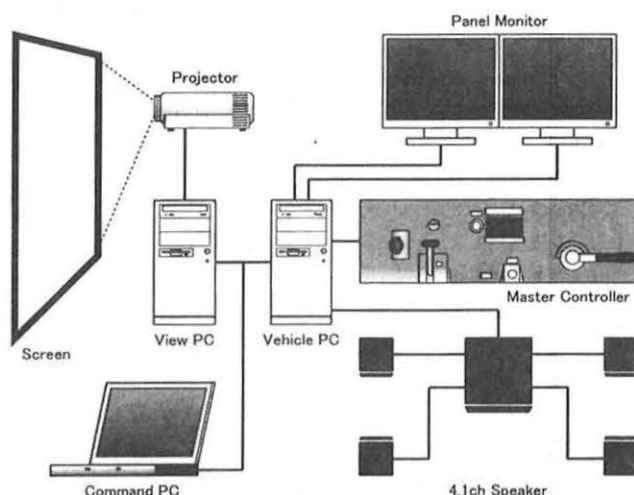


Fig. 1 Configuration of train simulator

両故障等の事故イベントをリアルタイムに発生できる。被験者の運転行動を計測する機能として、ハンドル位置や走行速度等の状態量を記録して、運転曲線の出力を可能にしている。

3 運転シミュレータを用いた運転行動の分析例

運転シミュレータを用いることにより、実車では不可能な事故発生時や覚醒度低下時の運転行動が分析できると考えられる。今回は、開発した運転シミュレータから得られる結果の予備調査とシミュレータの有用性の確認を行うため、運転操作と注視行動の計測を行い、眠気の主観的評価を行った。

3.1 眠気の主観的評価

眠気の主観的評価にKSS (Kwansei gakuin sleepiness scale) を用いた。KSSは、22の質問からなり、被験者は該当する項目を選択する(複数選択可)。各項目にはあらかじめ0~7の範囲で尺度値が与えられており、被験者が選択した項目の尺度値を平均して眠気とする。7が非常に眠い状態を示す。

3.2 実験の概要

被験者は、列車運転の経験がない21歳から26歳までの成人男子4名であった。計測を行うにあたって、シミュレータで必要となる運転知識を被験者に教示し、シミュレータに慣れるまで練習走行を行った。その際に事故イベ

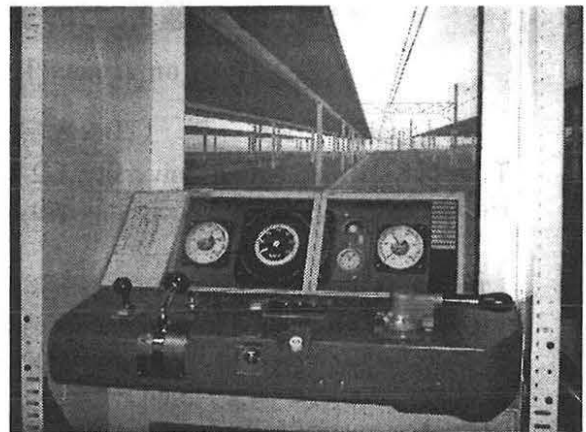


Fig. 2 Appearance of the simulator

ント(直前横断、発光信号、信号機故障、知らせ灯滅灯、故障表示灯点灯、非常ブレーキ動作、防護無線受信)を発生させ、事故の起こりやすい場面を被験者に示した。

計測は、実路線の4駅間9.6kmを模擬した路線を走行して行った。これを連続2走行して1セッションとし、各走行の開始時とセッション終了時の計3回主観的眠気の評価を求めた。1人2セッションを計測し、セッションの間に休憩時間を設けた。セッション1では平常運転とし、セッション2では、事故イベントを設定した。1走行目は、走行中に運転士知らせ灯を滅灯、2走行目は直前横断である。計測項目は、注視行動、ハンドル位置、走行速度、主観的眠気(KSS)である。注視行動は、アイマークレコー

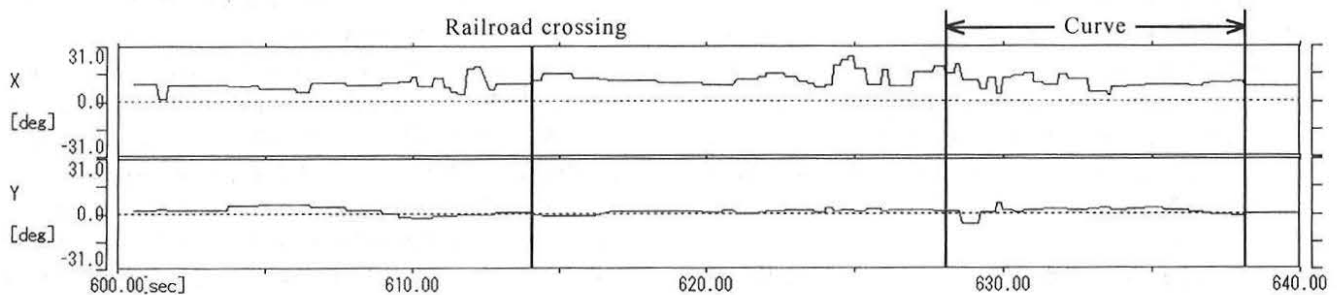


Fig. 3 Time history of gaze point

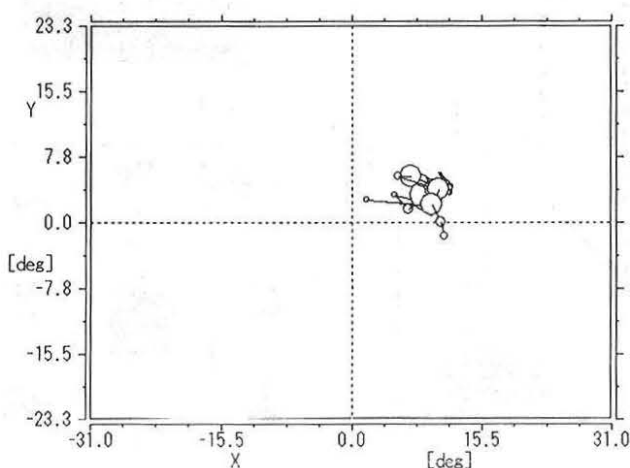


Fig. 4 Gaze shift in straight track

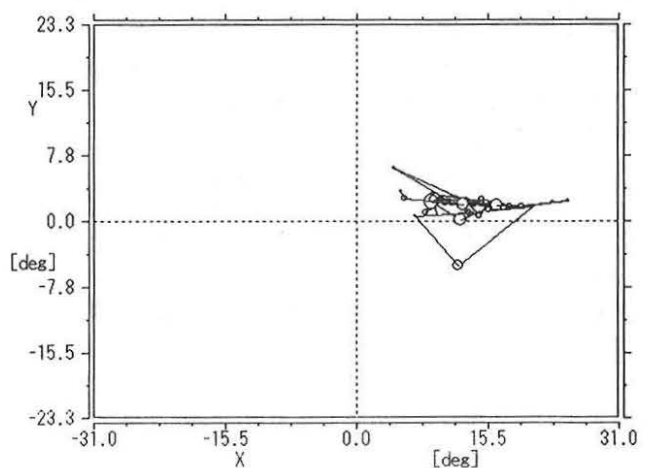


Fig. 5 Gaze shift in curve

ダ(ナックイメージテクノロジー社製, EMR-8)を被験者に装着して計測した。ハンドル位置と走行速度はシミュレータに時系列データとして記録した。

3.2 実験結果

3.3.1 列車運転の注視行動の特徴

運転が安定していた被験者Cの注視行動について解析する。図3は、注視点の時間変化を示し、xは水平方向、yは垂直方向の注視点座標である。628秒から638秒までは曲線を走行している。

まず、直線を走行するときの視線について見てみる。図3の時間変化を見ると、踏切の手前を除いて視線移動がほとんどない。図4に直線走行20秒間の視線軌跡を示す。注視点は前方に集中している。この時の停留時間別頻度を図6に示す。0.2~0.4秒の停留が最も多い。つまり一点の凝視ではなく、狭い範囲で細かな視線移動が行われており、前方の線路を絶えず監視していることがわかる。

次に、曲線について見てみる。図3の時間変化を見ると、620秒付近から後のx方向の視線移動が著しく大きくなっている。この視線軌跡を図5に示す。注視点は水平方向に分布している。列車が曲線に入る前から曲線より先の線路

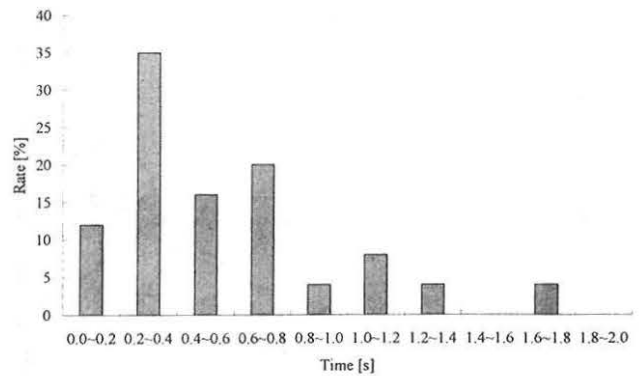
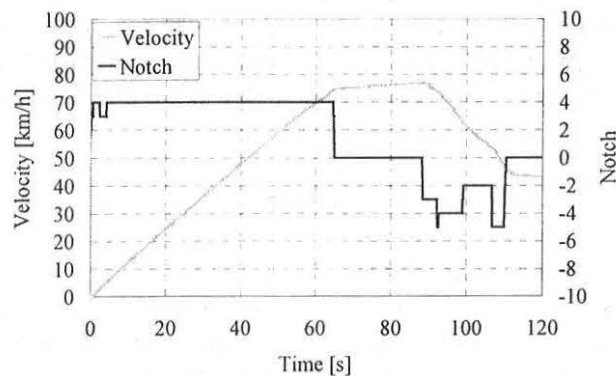


Fig. 6 Histogram of glance time

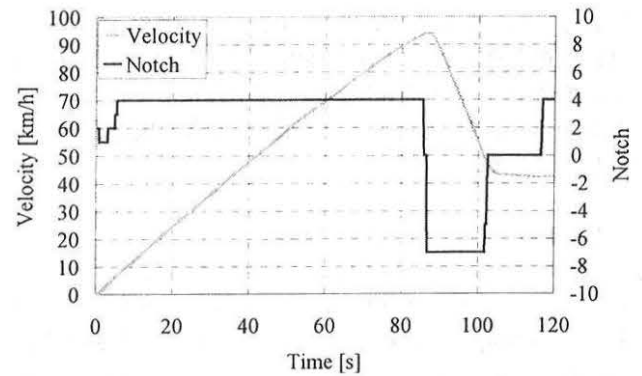
を注視していることを示しており、列車の運転は、前方の情報収集がかなり早い段階に行われると思われる。

3.3.2 注視行動と運転操作との対比

計4回の走行の中で、運転操作に大きな違いが見られた被験者Bについて取り上げる。図7(a)では、力行した後20秒以上惰行してブレーキをかけており、正常な運転操作が行われている。一方、図7(b)では、ハンドル位置を力行4ノッチから一度にブレーキ7ノッチに入れて急制動をかけ

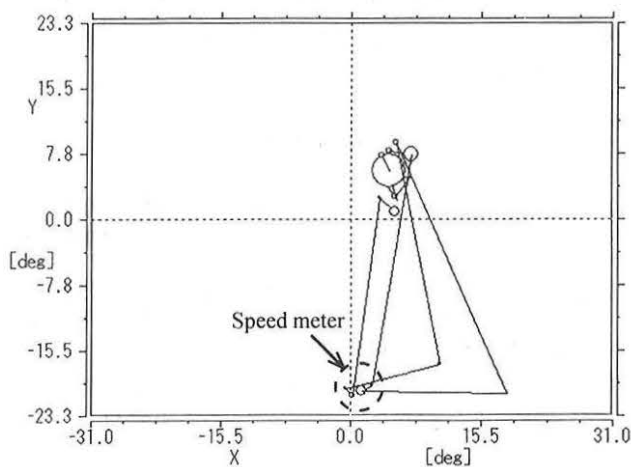


(a) Normal behavior

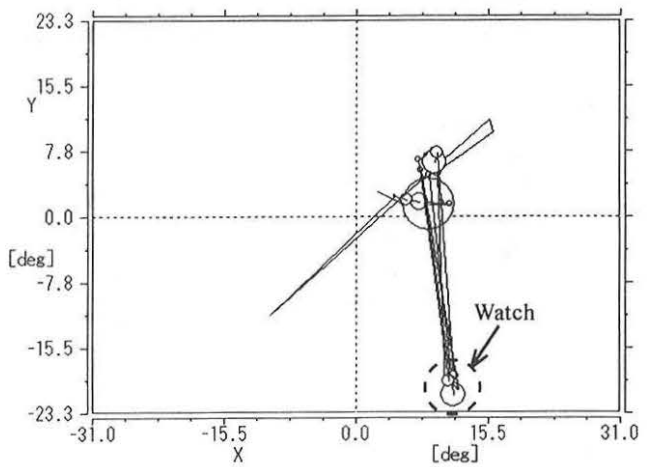


(b) Unusual behavior

Fig. 7 Driving data

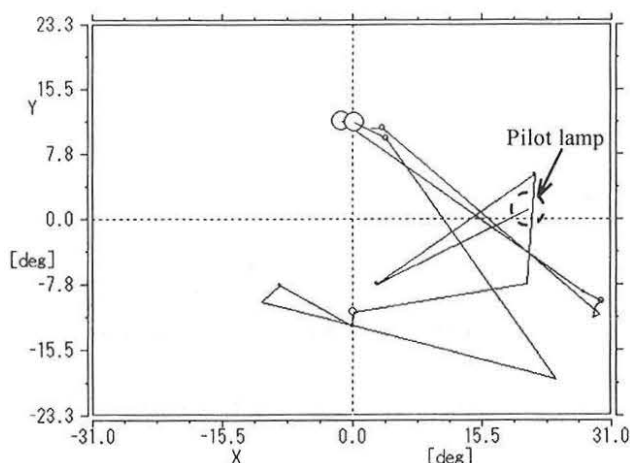


(a) Normal behavior

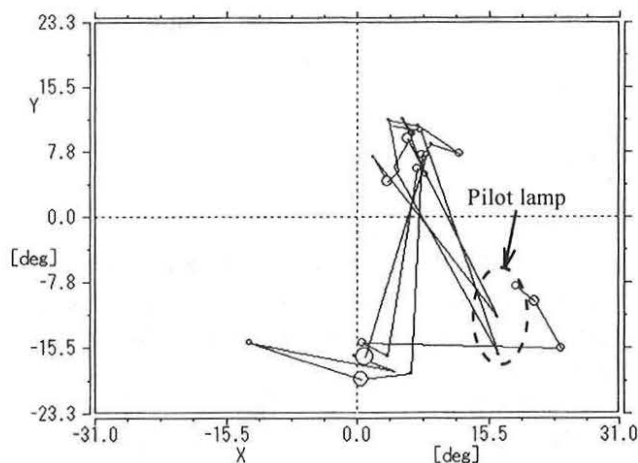


(b) Unusual behavior

Fig. 8 Gaze shift of subject B



(a) Subject D



(b) Subject A

Fig. 9 Gaze shift until brakes

Table 1 Reaction time to pilot lamp

Subject	Reaction time [s]
A	18.30
B	0.86
C	1.29
D	10.46

ている。この時の視線軌跡を図8に示す。図8(a)では速度計に視線が移されているが、図8(b)では、時計への視線移動が頻繁にあり、その間速度計は一度も注視していないことがわかる。時刻に気をとられた結果、速度の確認を怠ったと推測できる。

3.2.3 事故イベントに対する挙動

セッション2では事故イベントを発生させた。1走行目には、パターン接近表示灯点灯とほぼ同時に運転士知らせ灯 (Pilot lamp) を滅灯させた。車両は知らせ灯滅灯時には力行しないようになっている。被験者にはこの場合すみやかに非常ブレーキで列車を止めるように指示してある。表1は、知らせ灯が滅灯してからブレーキを操作するまでの各被験者の反応時間である。被験者2名は、直後に非常ブレーキをかけたが、他2名はしばらく走行を続けた。その間の視線軌跡を図9に示す。被験者Dは、あらゆる計器

類を確認して、知らせ灯を注視した時点でブレーキをかけた。被験者Aは、知らせ灯を注視したにもかかわらず、他の計器や前方に視線移動して走行を続けた。この結果は、必ずしも注視したからその意味をとらえたとは言えないことを示している。また、覚醒度については、図10に示すKSSの結果を見ると、イベントを発生させたセッション2の1走行目 (2-1) で、反応が遅れた被験者A、Dには特に覚醒度の低下は見られない。運転行動を詳細に分析するには、複数の生体情報を同時に計測することが必要であると考えられる。

4 結論

運転行動分析の実験ツールとして運転シミュレータを開発し、その有用性を確認するために予備的な計測実験を行った。その結果、シミュレータを用いて注視行動の解析が可能であることが示された。また、運転操作と注視行動を同時に計測することによって、運転挙動を注視行動から解析が可能であることを示した。

今後は、脳波や心拍変動等、複数の生体情報を同時に計測することで、覚醒度の運転挙動への影響やエラー発生メカニズムを明らかにし、覚醒度を保持する方法を提案していく予定である。

参考文献

- 1) 北島, 沼田, 山本, 五井: 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究 (第1報), 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 63, No.613, 1997, pp.93-100
- 2) 沼田, 北島, 五井, 山本: 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究 (第2報), 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 63, No.613, 1997, pp.101-108
- 3) 水田, 伊南, 吉岡, 工藤, 伊藤, 飯山: 列車運転における視作業分析, 人間工学, Vol.11, No. 2, 3, 1975, pp. 55-61
- 4) 日本睡眠学会, 睡眠学ハンドブック, 朝倉書店, 1994, pp. 545-547
- 5) 深沢, 倉又, 佐藤, 澤, 水上, 赤塚: 列車運転シミュレータ上で発生するヒューマンエラー, 鉄道総研報告, Vol. 17, No. 1, 2003, pp. 15-1

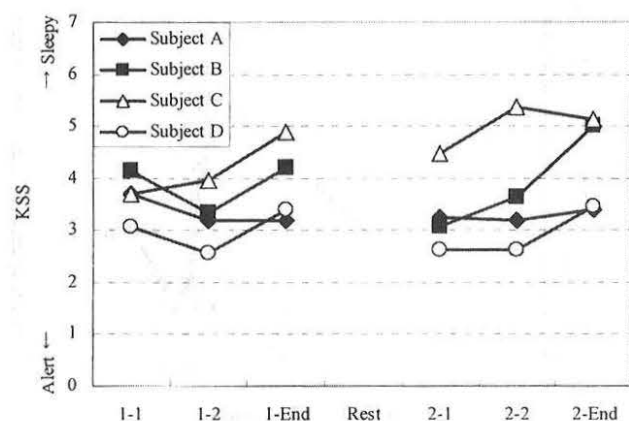


Fig. 10 Change of sleepiness