

# 列車を走らせる運転士の ヒューマンファクター

澤 貢  
人間科学研究部  
(人間工学 主任研究員)

藤原 浩史  
同  
(主任研究員)



さわ みつぐ



ふじはら ひろし

## はじめに

列車の安全、正確な運行は、車両、軌道、信号などの多くの設備と多くの鉄道係員によって支えられています。なかでも、列車を運転する運転士の役割はきわめて大きく、最前線で日々の列車運行を支えています。列車運転とはどのような作業でしょうか。運転士には、前方の障害や車両の異常などの不測の事態を監視し、信号機、標識および運転ダイヤに従った運転が求められます。また、列車の加速、減速操作による乗客への影響にも注意を払わなければなりません。

本稿では、列車運転時の運転士の生理・行動的側面からみた特徴と運転士を中心とした安全対策について紹介します。

## 運転時間と心身機能の変化

列車の運転を長い時間続けると、次第に疲れたり眠くなったりします。図1は、普通列車で4時間運転を行った時の運転士のフリッカー値と疲労症状の訴え数を調べたものです。フリッカー値は脳の活性状態を表す指標の一つで、安静値から-5%を下回らないことが安全を保つ上での許容範囲とされています。

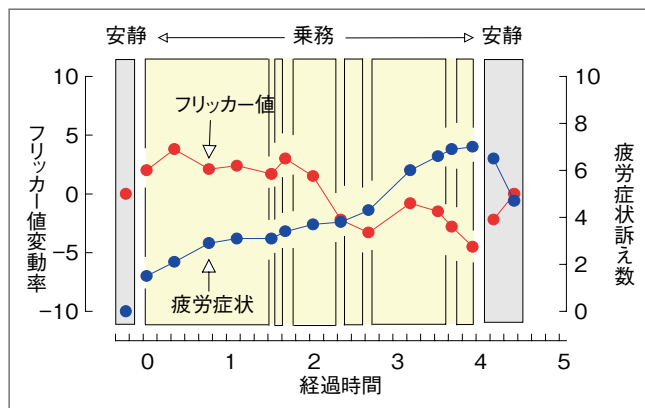


図1 4時間運転時の心身機能の変化

図を見てみましょう。運転の開始時は、作業に適用していることとする努力や緊張によるフリッカー値の高まりが見られます。その後のフリッカー値は直線的に低下するのではなく、様々な変化をとりながら低下していることが読み取れます。運転開始から約3時間が経過した頃は、-4%のフリッカー値の低下と疲労症状の訴え数の増加が見られ、やや軽度の疲労状態になっているものと推察されます。このような変化は、一般的な列車の運転作業で普通に見られます。しかし、単調性が比較的強い新幹線の運転作業のように、運転開始時のフリッカー値の高まりがなく、始めから安静値よりも低い水準をとるものもあります。

適切な運転作業を続けるには、必要最低限の機能水準が保たれていなければなりません。今回の4時間運転では問題がないと考えられますが、これが5時間、6時間と長くなると、安全に支障をきたす水準にまで機能が低下する可能性があります。このため、今日の多くの鉄道会社では、運転士の労働時間や運転時間などの基準を定めて、運転中の機能水準の維持に対する配慮がなされています。

## 視線の動きと注意

運転士は、運転に必要な情報を前方視界と自身に記憶されている認知地図から収集しています。前方視界からの情報の収集については、視覚機能に頼ることになります。運転士は視覚機能をどのように使っているのでしょうか。

図2の列車運転シミュレータを用いて、走行時の上下方向と左右方向の視線の動きを電気的方法で記録してみました。この方法は、目の周りに小さな電極を貼り、眼球の動きによって変動する電位を記録する方法です。例えば、通常の視線位置(スクリーン)から下方の速度計に視線を移動させると、図3の「○」枠で囲んだ下向きの山型の波形が見られます。その出力波形から視線の方向を知ることができます。また、まばたきも同時に記録されるので、その多寡によって注意の強さを知ることができます。

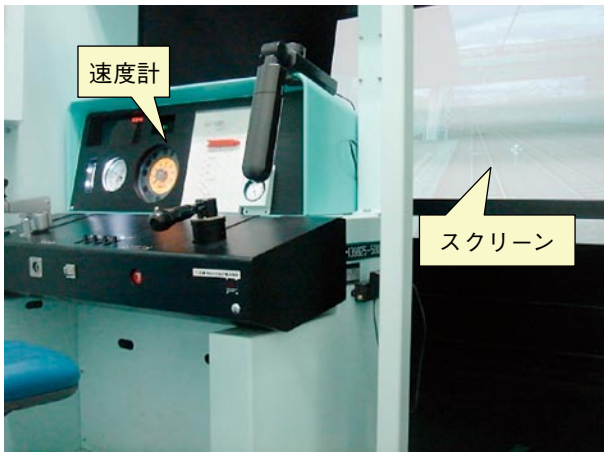


図2 列車運転シミュレータ

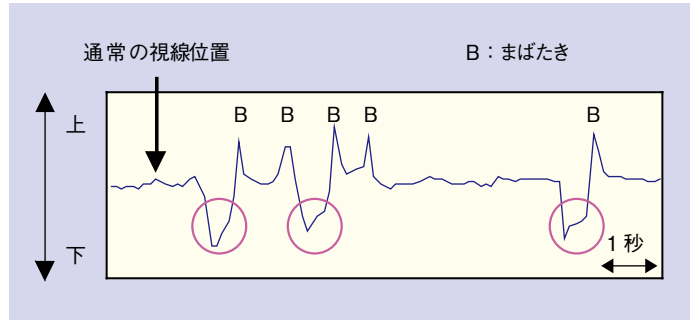


図3 上下方向の視線の記録例

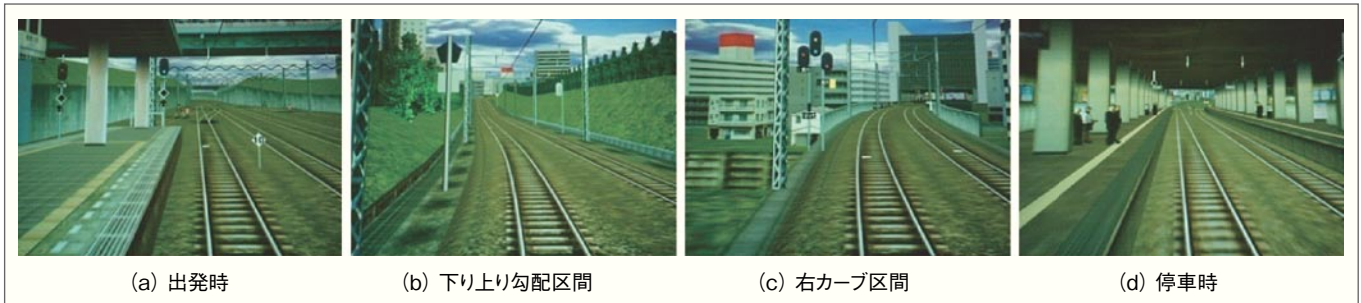


図4 A駅-B駅間の路線映像

図4のA駅-B駅間を走行した例から次のことがわかりました。主幹制御器(列車の速度を調節する機器)のノッチを入れて駅を出発し、これをオフにするまでの区間(a)は、周囲の標識や信号機に視線を頻繁に動かして走行していました。その後の左カーブを含み下り勾配に続いて上り勾配となる区間(b)では、曲線よりも勾配による運転速度の変動の方へ注意を向けているのでしょうか、左右方向の視線の動きがほとんどなくなり、速度計を何度も見ていることがわかりました。次の場内信号機が林立する右カーブの減速区間(c)では、視線を右上から左下方向へと動かして、進行方向の先を覗き込むように、また、速度計へと視線を順次移動させていました。信号現示の誤認や速度超過といったことに注意を向けていたといえましょう。最後の駅停車にかけての区間(d)では、前方の一点を注視していて、視線の動きが停滞し、まばたきも停止していました。今回の事例では、とくに列車を止めるということに対して、注意や警戒を強めていたことがわかりました。

運転士の注意を欠いては、安全、正確な列車運行ができません。しかし、運転士の注意と同時に不注意も必ず存在します。不注意が重大な事故をまねくようなところでは、保安装置を整備するなどの対策が必要となります。

### オーバーラン事例

運転士が注意を向けているものは、裏返せばその発見や判断が遅れたり、見誤りしたりすればエラーや事故につながりやすい重要なものと考えられます。誰でもが発生させる可能性をもつエラーとして、停止位置を行き過ぎるオーバーラン(過走)があります。図5は、列車運転シミュレータ上のC駅-D駅間で発生したオーバーラン事例と正確に列車を止めた通常事例(灰色の領域)の運転曲線を比較したものです。

オーバーラン事例の運転曲線が通常事例に比べて著しく

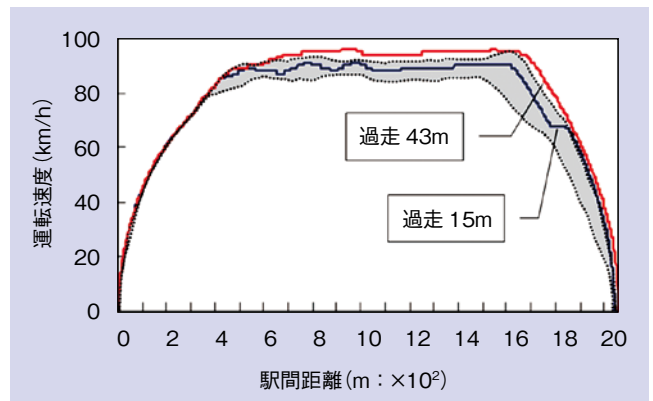


図5 オーバーラン事例と通常事例の運転曲線

異なるということはありません。オーバーランの発生は、運転士の疲れや眠気などの機能水準の低下による場合もありますが、今回の事例のように、ほとんどがブレーキをかけるタイミングの遅れや、ブレーキノッチが弱く十分な速度制御ができないまま駅に進入して停止位置を行き過ぎるという、不注意によるものでした。少しのオーバーランは、もちろん旅客に迷惑をかけますが、安全面からみた場合には問題は少ないと考えられます。しかし、停止位置の先にある信号機を冒進してしまうような大幅なオーバーランは、もしその信号機が赤（停止）であれば、衝突、脱線などの重大事故につながる可能性があります。

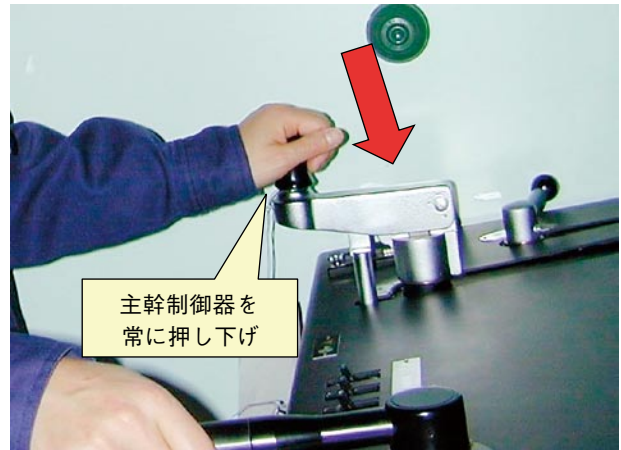


図6 デッドマン装置の付随する主幹制御器

### 運転士の異常を検知する装置

運転士の機能水準や注意が保てるような体制を整えることが列車の安全、正確運行の基盤となります。一方で、運転士の機能水準の低下や不注意にも備えておかなければなりません。

鉄道では、車両の異常などの不測の事態が発生した場合、速やかに列車を停止させて安全を確保するという考え方が基本にあります（トンネルや橋梁などの例外もあります）。運転士に異常が生じた場合も同じです。この場合、異常が生じている運転士が自らの意思で非常ブレーキをかけて列車を停止させるということは期待できないため、装置によって運転士が異常状態にあることを検知して、非常ブレーキを作動させる必要があります。このような運転士の異常状態を検知する装置として、“デッドマン装置”と“EB装置”があります。

デッドマン装置という言葉は、かなりインパクトが強く感じられますが、装置が動作する条件に着目した名称です。その名の通り、運転士に失神などの万一のことが発生

した場合を想定して、非常ブレーキを作動させる装置です。EB装置の“EB”とは、Emergency Brakeの略で、装置の動作する内容に着目した名称になっています。これらの2種類の装置は、はたらきがきわめて類似しているため、慣用上は両者をとくに区別せず同一のものとみなされていますが、次のような違いがあります。

デッドマン装置は、運転士に対して主幹制御器を押したり（図6）、ペダルを踏んだりすることを常時要求し、それらを一定時間（数秒）離すと自動的に非常ブレーキがかかるという機能を持ちます。これに対して、EB装置は、一般的に主幹制御器やブレーキなどの操作がない状態が60秒間続いた場合に警報が鳴り、さらに5秒間、所定の操作（専用のリセットスイッチの押下）がない場合に自動的に非常ブレーキがかかるというものです（図7）。旧国鉄（JR）では、1969年以降に新造された機関車にEB装置が取り付けられるようになりました。

一方で、これらの装置には短所も指摘されてきました。デッドマン装置は、運転士の本来の作業に直接関係のない

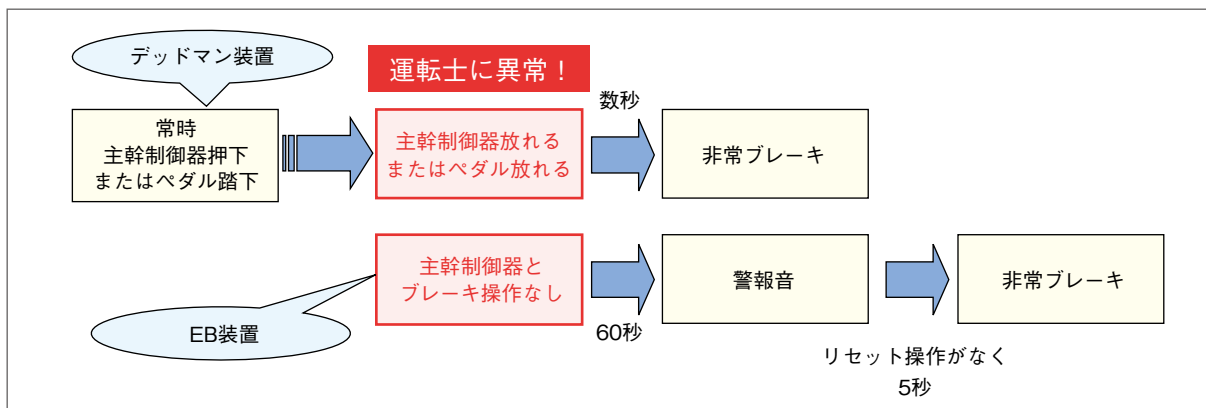


図7 デッドマン装置とEB装置のはたらき

動作を強制しています。EB装置では、運転士に異常が発生して作業不能状態になってから、非常ブレーキがかかるまで最大65秒もかかります。これらを互いに補うため、デッドマン装置にEB装置を組み込み、運転士に要求する操作を改善した装置の開発も考えられています。

非常ブレーキをかけるという機能を持つ装置としては、他に良く知られた“自動列車停止装置”（ATS）があります。ATSでは運転士の状態にかかわらず、赤信号の前で止まるように非常ブレーキを作動させるというものです。この装置では、運転士の不注意による大幅なオーバーランを防ぐことができます。

### 踏切障害物の発見を支援する装置

前方の障害物を発見し、直ちに非常ブレーキをかけることも運転士の重要な職務の一つです。とくに、踏切では道路交通と交差していることから、自動車などが立ち往生していないかどうかを注意しなければなりません。しかし、踏切までの線路がカーブしている場合や夜間で見通せる距離が短い場合は、運転士の前方監視による注意だけで踏切内の障害物を発見することが難しくなります。そこで、多くの鉄道会社では、踏切内の障害物発見を支援するための“踏切障害物検知装置”（略して“障検”と呼ばれています）が導入されています。この装置は、立ち往生した自動車など踏切内の障害物を自動的に検知して、接近する列車の運転士に速やかに踏切内の異常を知らせるものです。

図8は、一般的な踏切障害物検知装置の構成例を示した

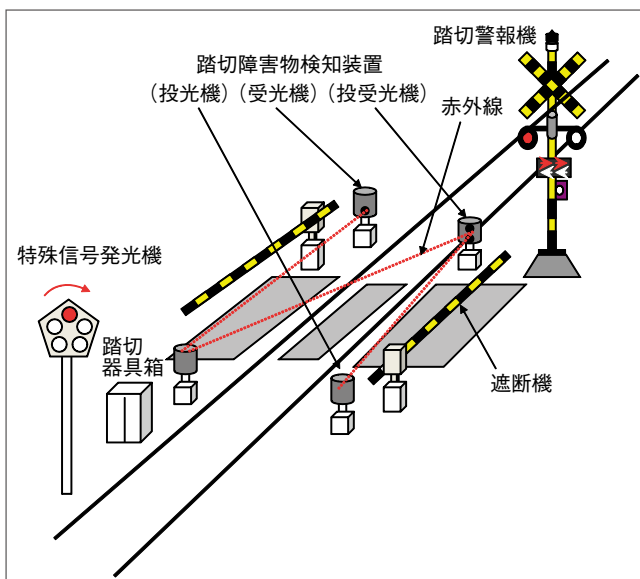


図8 踏切障害物検知装置

ものです。踏切内の障害物を検知するために、よく用いられているのが赤外線です。踏切を挟んで両側に赤外線を出す投光機と受ける受光機を設置して、踏切が閉まっている状態で立ち往生した自動車の陰になって、赤外線が一定秒数途切れたとき、踏切内に障害物があるものとして検知します。この赤外線による方式を“光電式”といいます。この他にも、自動車が金属の塊であることを利用して、踏切の地面に埋めておいたコイルに電磁的な変化が発生することによって検知する“ループコイル式”と呼ばれるものがあります。

運転士に踏切内に異常があることは、踏切の手前に設置してある特殊な発光装置によって知らせます。その装置には様々なものがあります。現在主流となっているものは、“特殊信号発光機”と呼ばれるもので、五角形の型に取り付けられた赤いLEDランプが順次点滅し、あたかも回転しているように見えるものと、棒状のLEDランプが強い赤色光を点滅させるものです。特殊信号発光機によって、運転士は実際の踏切内の状態を確認するよりも早く、より確実に異常状態を知ることが可能となります。なお、特殊信号発光機の導入前は、“信号炎管”と呼ばれるものが主流でした。これはその名の通り作動時には発火・燃焼して炎の強い光や煙によって異常を知らせるものです。

運転士は特殊信号発光機が点灯しているのを発見した場合は、直ちに非常ブレーキをかけなければなりません。基本的に非常ブレーキをかけるという作業があり、見落としや見誤りなどの不注意によるヒューマンエラーが介在する余地が残っています。そこで、周辺にある通常の信号機に赤信号を表示させて、通常の赤信号と同じように非常停止の機能を持たせた仕組みを導入している線区もあります。

### おわりに

運転士の機能水準の低下や不注意によるヒューマンエラーが発生しても、直ちに事故にならないことがあります。しかし、少しのことでも大事故につながることもまた事実です。鉄道はハードウェア、ソフトウェア、そして運転士をはじめとするヒューマンウェアなど様々な要素から構成される大きなシステムです。列車の安全、正確運行には、ヒューマンエラー防止などの個々の要素に関する対策が重要です。また、全体を見渡してどこが安全上のポイントになっているか、どこにどのような対策を講じれば、全体としての安全性の向上につながるかを考えることも大切です。

RRR