

# 11. 鉄道における運転操作モニタリングによる ヒューマンエラー事故防止技術の開発

交通システム研究領域

※吉永 純、水間 毅、林田 守正、工藤 希

## 1. はじめに

公共交通機関の高速化、高度化に伴い、安全性についても保安設備の導入、改善等各種の対策が講じられてきた。今後も設備の高度化・機能向上による安全性の向上が絶え間なく進むものと考えられる。

しかし、さらに事故の減少を図るためには、事故原因の8割をしめると言われるヒューマンエラーによる事故を防止することが重要となってきた。また近年陸・海・空の公共交通機関においてヒューマンエラーが一因と言われる事故も発生しており、対策が求められているところである。

国土交通省では総合的かつ効果的な事故の防止について検討する「公共交通に係るヒューマンエラー事故防止対策検討委員会」を設置し、平成18年4月に公表された「最終とりまとめ」には、事故の防止のための多くの視点が盛り込まれている。

本研究では、この提言の中の『運転者側の潜在的危険状態への移行を早期に検出し、通常状態への復帰を促進する技術、運転者の状況認識の強化（気づきの支援）を図る技術、運航管理側からの状況把握・支援を可能とする技術の開発』に取り組むべきとの指摘を踏まえ、気づきの支援と、運行管理側からの支援を行う手法について研究を行うものである。

## 2. 逸脱の検出・支援機能の開発について

インシデント等の事象の発生を検出し、改善を行う手法としては航空分野で用いられている FOQA 分析が知られている。これは、運行中に記録された運行データを回収し、インシデント及びインシデントに至るおそれのある事象を抽出、原因分析し、改善措置を講じるという一連のルーチンで行われるものである。

本件においては、公共輸送機関として鉄道を研究対象として取り上げ、インシデント等の事後の把握による今後の輸送の改善を行うツールとして平成18年7月より施行された新しい鉄道の技術基準により特定

線区の車両に義務づけられることとなった「運転状況記録装置」のデータを活用することによる支援機能の開発と、列車の運行中にリアルタイムに異常を検知するモニタリング手法の開発の2点を行う。モニタリング手法について2.1節に、支援機能は2.2節に示す。

## 2. 1 モニタリング手法について

### 2. 1. 1 モニタリングの対象

正常状態からの逸脱を早期に検出し、警報等により運転士への「気づき」を支援する装置により、運転中に生じる可能性のあるヒューマンエラーの検出を行い、安全性の向上を行うための判定手法について検討した。また、実列車における試験を行った。

対象とする「ヒューマンエラー」は、うっかりミスや錯覚等、意図せずに行ってしまうもの（狭義のヒューマンエラー）と、行為者がその行為に伴うリスクを認識しながら意図的に行う不安全行動の、両者を対象とし、これらを列車上においてリアルタイムに検出する手法を検討した。これにより法的に設置が義務づけられたATS等と合わせ、全線にわたり有効可能な効果的な安全性向上策となるものと考えている。

### 2. 1. 2 逸脱検出手法について

国土交通省総合政策局の技術開発として、現在、当研究所及び独立行政法人電子航法研究所とで、下図の分担によりモニタリング手法を研究している。

#### 【独立行政法人電子航法研究所】

- 運転者の心身状態のモニタリング手法の開発
- ・発話音声の集音と解析による疲労・パニックの検出手法の開発

#### 【独立行政法人交通安全環境研究所】

- 運行状況のモニタリング手法の開発
- ・速度変化、運転操作からの検出手法の開発

図 2. 1 : モニタリング手法の開発分担

交通安全環境研究所では、速度変化、運転操作、姿勢の変化、といった、運転者に負担をかけずにモニタ

することが可能な現象からの正常状態からの逸脱判定手法を研究している。特に速度及び運転操作をモニタすることは、VVVF インバータ制御装置等のモニタ装置を利用する方法で実現が容易と思われることから、速度及び運転操作によって正常からの逸脱を判定することとした。

### 2. 1. 3 判定アルゴリズム

鉄道で用いられている ATO・ATC では、連続的に適切な目標速度（制限速度）を算出し、常に目標速度と実速度を比較して、加減速により調整している。適切な速度は、前方列車の状況等に即して与えられる。

この考え方を援用し、標準的な運転速度を示す「標準運転曲線」との比較により、一定範囲内に速度が維持されるよう連続監視する方法とする。

図 2.2 に判定手法を示す。

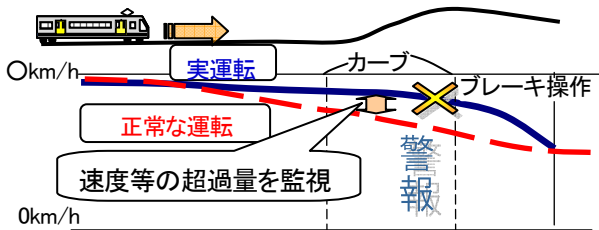


図 2.2 : 速度超過判定手法（速度）

$$\sum_{k=0}^N (\text{実速度 } v_{r(k)} - \text{標準速度 } v_{s(k)}) \geq C$$

；ただし実速度  $v_{r(t)} > \text{標準速度 } v_{s(t)}$  t ;時刻 [秒]  
；Cは定数

また、ATO・ATC では停車駅等の速度を下げる箇所では、その手前の特定地点以降加速せず、地点毎に所定速度パターン以下となるよう速度を連続監視している。潜在的危険状態の判定の精度を向上するためには、上記の速度による判定に加え、通常時の運転者の意思が現れると考えられる運転操作状況を組み合わせることが有効と考え、図 2.3 のように標準的な操作（ブレーキ操作）を示す「標準操作曲線」と比較するモニタリングアルゴリズムを併用する。

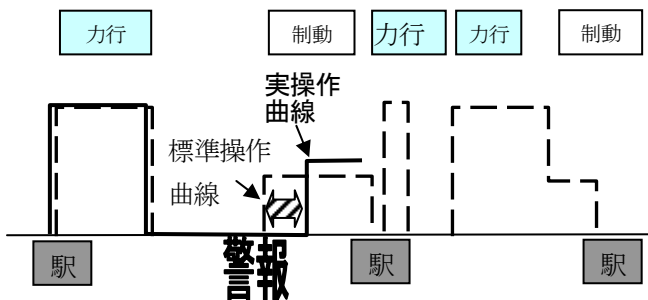


図 2.3 標準操作曲線（力行ノッチ・ブレーキ）

## 2. 2 運転支援機能の開発

### 2. 2. 1 運転支援機能の検討

この研究は、運行管理者による不具合要因の検討を支援するため、車上で検出された警報やインシデント情報を蓄積、後日、運行管理者側で統計的解析等不具合要因の検討・防止を行うシステムを開発し、動作試験を実列車で行ったものである。

前述の国土交通省の「最終とりまとめ」では、「ヒヤリハット情報を含む現場での課題、問題点に関する情報が、確実に報告されるシステムの構築が求められる」とされ、また航空分野で用いられている運航品質保証(FOQA) と同等のシステムの導入を、他の公共交通機関でも検討すべき、とされている。運航品質保証は、事故時のみではなく日常の交通輸送業務で記録されたデータを集め分析することに特徴があり、潜在的な危険状況に至る事象を見つけ、事故が起こる前に対策を取ることが期待されるものである。最終とりまとめでは、そのためには匿名性を確保する必要性も書かれており、日常の交通輸送業務で得られる情報を淡々と集め客観的に分析する工夫が欠かせないと考えられる。

海外では、運転状況を記録する装置（EDR（Event Data Recorder））の搭載が実質的に義務づけられ、整備が進められ、かつデータを自動解析するソフトウェアが複数市販され、インシデント発生時以外に分析活用している現状がある。



写真 2.1 : EDR 装置（英国：virgin trains）

日本での鉄道事業者によるデータの有効活用方法はこれからの課題だが、インシデントの発生、運転操作を連続的に記録・蓄積するシステムが有効と考える。また、大容量記録メディアの低価格化が進む現状から、映像記録も合わせて記録し、これらを可視的に提供することにより自己の運転を他と比較する等、より客観的に見直すことのできる道具としても、安全性向上のツールとしても強力なものと考えられる。

本研究の正常からの逸脱行動を検出する手法による異常の検出の有無を記録することに加え、その場でも標準操作と、実操作曲線等を再生表示を行うことができる機能を有する、インシデント情報収集装置を製作する。

### 2. 2. 2 ソフトウェアの開発

2. 1 節に示した速度や判定した異常状態の発生について、列車位置を路線図上に表示・記録する機能を作成した。また、運転について運行管理者による統計的手法によるデータ解析や、運転士の自己研鑽に用いるため、列車の走行中に①列車位置、②映像記録、③運転速度、④ブレーキ操作状況、⑤警報の発生状況等を記録する機能を作成した。

## 3. 列車上試験の実施

### 3. 1 実験機器構成

速度及び運転操作のモニタリングによる正常からの逸脱判定と、運転支援のためのインシデント情報収集が可能な装置を1つの筐体として製作した(図3.1)。さらに、大容量の映像記録及びGPSによる列車位置情報も同時に取得するため、当研究所が開発した運転状況記録装置(映像型)を使用することとした。

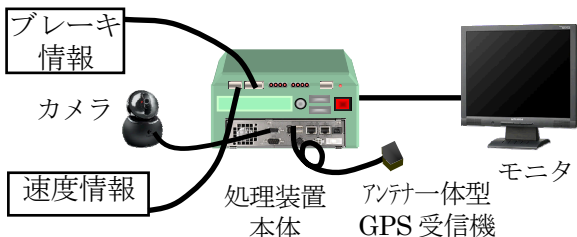


図 3.1 実験機器構成

## 3. 2 試験結果

写真 3.1 に列車上に搭載した状況を、図 3.2 に実列車により取得したデータ及び警報出力状況を示す。

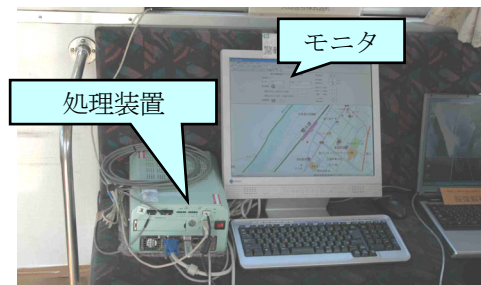


写真 3.1 搭載状況

なお、速度超過を示す警報(「速度超過警報」)の閾値は、警報後のブレーキ操作により正常に停車できるように設定し、運転操作のタイミング異常を示す「減速警報」については、鉄道事業者のダイヤによる標準より遅くなった場合に出力することとした。

また、試作装置では各種警報の発生を運転士に提示することは行わず、画面上に表示を行うことにとどめた。下の図 3.3 に画面表示例を示す。



図 3.3 実験機器構成

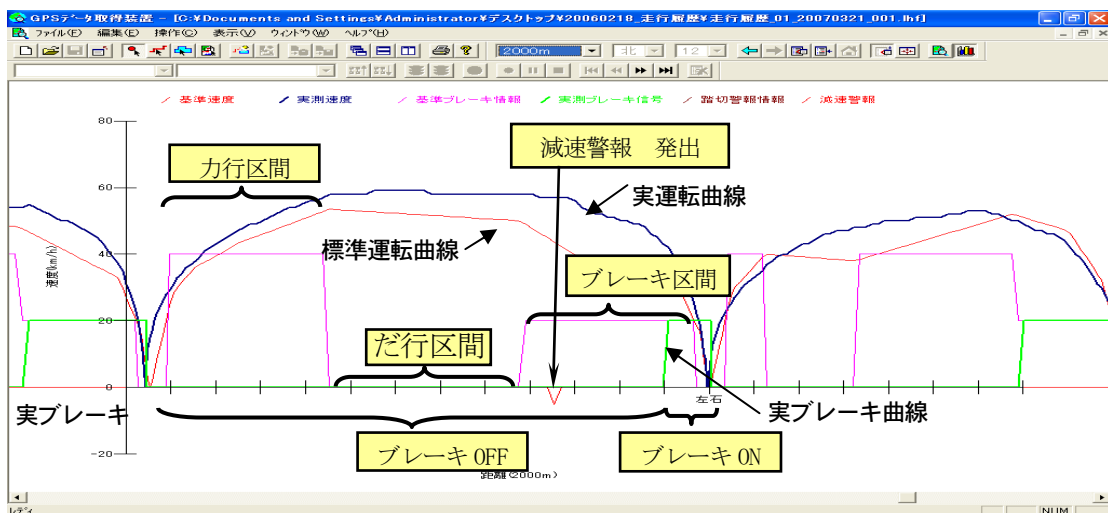


図 3.2 実験結果-1 (減速警報発出)



### 3.3 試験結果（外部機器からの警報の記録）

3.2節とは異なる鉄道路線（試験線路）において、より運転状況を克明に記録することを目的として、標準運転曲線と実運転曲線の比較、標準運転曲線からの速度超過を検出して速度超過警報を発生する機能に加え、その際の前方映像等を記録するためのカメラを搭載した装置構成により動作試験を行った。

この試験ではレールの異常を検出する装置を搭載し、この装置が異常を検出した際に「インシデント発生」として列車位置等を記録し、地図上に表示する機能を作成し、併せて試験を行った。

はじめに、速度による不正常な状態の検出時の出力状況を図3.4に示す。同図は速度超過警報の他、軌道の不整や信号機の異常を検出する外部装置からの出力を得て、異常発生を記録したものである。

速度については、この実験では安全な実験実施のため、速度が標準運転曲線を下回った際に警報することとしており、図3.5は標準運転速度21km/hに対して、実運転速度が9km/hと低く、その差12km/hと通常この場所では考えられない差が生じていることにより速度異常として自動的に判定された例である。モニタ上に速度異常という警報が出力され、その時の場所、運転状況が映像として記録されている。

このように、標準運転速度、最高速度、曲線通過速度を予め設定しておき、実運転速度がそれを上回った時（この実験の場合は、安全な実験実施のため下回った時とした）に、早期に警報を発生することにより、不正常な状態の継続に対して注意を与え、正常な状態へ移行させることが期待できる。

図3.4 実験結果－2（速度超過警報及び外部機器からの異常の記録）

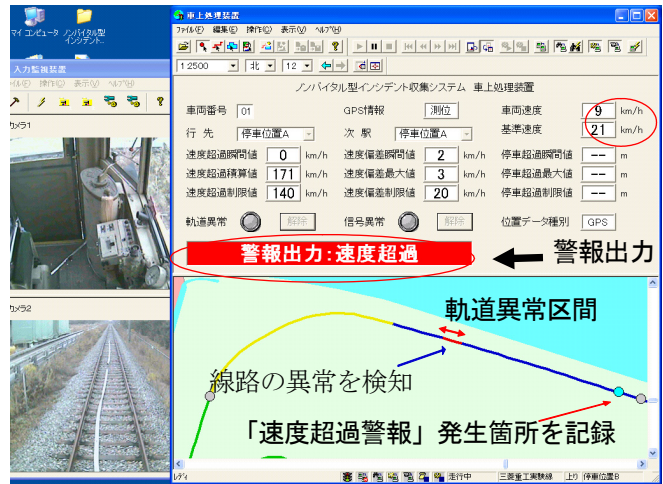


図3.5 実験結果－3（インシデント等の記録・図示）

### 3.4 実験結果について

本試験では、実速度をモニタリングし、標準運転パターンとの比較をリアルタイムに行い、異常を検出する手法を検討して実験を行った。また、ブレーキ操作等の操作情報からモニタリングする手法について検討し、逸脱行動を検出する装置を試作し、実列車に登載した実験を行い、ブレーキ遅れに対して警報出力が行われる事を確認した。

また、運転者・地上の運行管理者に対する支援のため、逸脱行動検出等の情報を記録・蓄積するインシデント情報を収集する装置の試作を行い、実列車上で標準運転曲線や標準操作曲線と、実際の速度・ブレーキ操作とをグラフにより表示する機能、警報出力のあった位置を記録する機能を確認した。さらに、映像により常時記録を行うことにより状況が明確に分かるよう工夫した装置の試作を行い、動作試験を行った。

## 4. 今後の課題

以上、開発したヒューマンエラー事故防止のための機能の確認は行われ、概ね所定の成果は得られた。

今後は正常状態からの逸脱判定に関するアルゴリズムの精度向上のため、個人的な運転方法の差を誤検知することがないように、標準の作成方法等をより幅を持たせる工夫が必要である。また、蓄積された運転データやインシデント発生に関する情報を、自動解析ソフトウェアによる解析等、簡便な方法により解析し、効果的に活用する方法について検討する必要がある。

