

14. 鉄道におけるセンサによる運転士の異常検知技術の検討

交通システム研究領域

※吉永 純、水間 毅、工藤 希

1. はじめに

1.1 研究の目的

一度に多くの人々に利用される特質を持つ公共交通機関にあっては、ひとたび事故等が発生した場合大きな被害となる可能性があることから、陸・海・空にわたる輸送機関いずれも、輸送安全に関しては運行にあたる職員の高い意識と規律の保持、安全設備の開発等絶え間なく様々な安全対策を講じてきた。

しかしながら、人間が輸送の安全を確保している以上、意図的／非意図的を問わず、何らかのヒューマンエラーにより正常な運行が維持されなくなる可能性は残り、現実このようなことを原因とする事故も残念ながら発生している現状である。

2005年11月29日付けで公表された国土交通省の「技術基準検討委員会」による「中間とりまとめ」では、運転士の異常を的確・迅速に把握するための技術開発を行い、運転士に異常が生じた際の列車停止機能の向上を図っていくことも必要、との指摘もなされ、自動車工業や情報産業等の他の産業界との連携、協力に十分意を払う必要性も指摘されている。

さまざまな交通機関の安全性向上は当研究所の役割であることから、優れた技術の利用を積極的に行っていきたいと考えている。

本稿では鉄道を対象として、運転を行う職員の不正常的な状態として運転士が所定の位置に居ない、もしくは、従来の方法では検知が難しいケースとして、所定の位置には居るが運行を行えない体勢であることを直ちに検知する方法について、他分野で用いられているセンシング技術等を利用するアルゴリズムの検討、システム試作及び実物大運転台を模擬したシミュレータ上での試験を行い、検出可否について試験を行ったことについて報告を行うものである。

1.2 鉄道における現状の装置

鉄道における主要な現状での対策を概観する。

鉄道での運転操作は速度、加減速、安全確認動作等を十分に習熟した運転者が行うため、信号機の現示(速度の指示)等、状況によって異なるものについて、ヒューマンエラーがあっても安全が保持されるよう、

ATS(自動列車停止装置)による速度監視等を行うようにされている。さらに平成18年3月公布の技術基準改正によって、路線環境からみて速度超過により脱線のおそれがある箇所についても装置設置を義務付け、安全性の向上を図っている。

ATSの動作に頼らず、異常の発生を検出しブレーキを動作させる「運転士異常時列車停止装置」も、ワンマン運転を行う列車や、高速・稠密運転を行う路線には義務付けられている。列車毎に多種多様な仕様があるが、検知方式から大きく2つに分けられる。検知方式と特徴を表1にまとめる。

表1 運転士異常時列車停止装置の特徴

方式	検知方式	特徴
(1)デッドマン装置	ハンドルと同時に握るレバー、ボタン又は足で踏むペダル。押し込まれている限りは正常と判断。	・運転士が居ることは担保 ・一定以上の握力で握り続ける必要がある ・検知が早い
(2)EB装置	数分程度の一定時間、運転操作が無い場合に異常と判断。	・体力的負担小 ・検知まで一定時間の経過を要す

両者とも、運転士が意識を失った場合であっても、数分間は握力が落ちず異常を検出できないことがあるとの指摘もあり⁽²⁾、しばらくの間は異常な状態のまま加速が継続されることも想定される。路線全線に渡って速度超過を監視することはコスト面から現実的ではなく、また速度が遅くとも数分間に渡り列車が漫然と走行し続けることは避けるべきと考え、列車上においてより早く異常を発見する技術を検討することとした。

2. 異常の検出方法の検討

2.1 検出アルゴリズム

1.2節に示した現状の設備からみて、最終的には次のような装置が望ましいと考えられる。

- 地上設備を用いず、列車上において検出できること
- 運転士への新たな負担をもたらさないこと
- EB装置より早く検出できること

これらを最終目的として、まず第1ステップとして現状の設備では検出が難しい以下からの情報から判

別できる異常の検出を目指すこととした。

(1)運転士の姿勢（体勢）の変化

(2)不正常的な運転機器操作

列車の運転士は多くの場合、固定された位置に着座し、船舶のように所定位置を離れることは無い。

そのため(1)運転士の体勢の変化 としては、うつぶせ、仰向け等の姿勢をとっている場合や、着座していないことは通常は生じないため、これらは頭部の位置を検出することでモニタリングが可能と考える。

(2)不正常的な機器操作については、通常はハンドルを握りつづけている腕を放してしまう、機器操作を行う、等が通常では行われないことであり、腕の位置を検出することで簡単な異常判定が可能と考えられる。

当然これだけでは真に正常な運転操作を行っていることの判定ができるものではない。しかし、将来的には腕の動き等を検出する手法があればさまざまな不正常的な状態検知に利用が可能と考えられるため、今回は検出能力の試験及び明らかな異常の検出試験として実施することとした。

頭部と腕部の検出ステップについては、図1のように、異なる手法が必要と考えた。マスコンハンドルを操作する腕部は、通常の運転中にはマスコンハンドルを握り続けているため、かならずハンドル付近に所在している。頭部については、運転中であっても頭部の動く範囲は通常の運転操作を行っている場合でも前後左右に動く様子が見られ、また運転中の機器操作の必要性から腕を高く挙げることもあるため、頭部については頭部か否かの判定を行った上で、正常/異常判定を行う2段階の判定を行うこととした。図1に、頭部・腕部の異常判定の基本概念を示す。

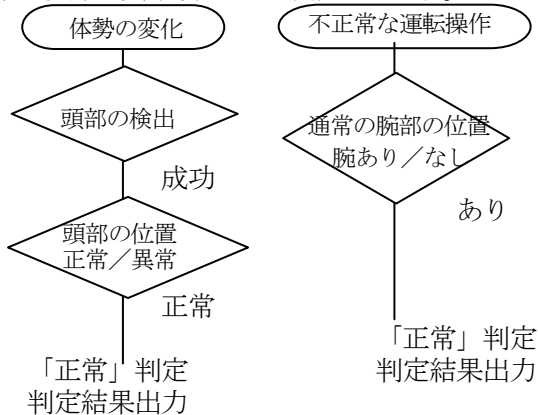


図1 異常判定の基本概念

2.2 検出デバイス

姿勢の変化からの異常検出、不正常的な運転機器の取

り扱いの検出のため、頭部、腕部を検出するデバイスが必要となる。

検出の負担感のあるものや新たな作業が増えるものは極力避ける必要があるため、非接触の方式で、かつ、連続的にモニタリングできる必要がある。

交通安全環境研究所では、一定の要件に該当する既存の鉄道車両には平成23年7月までに運転状況を記録する装置の搭載が義務付けられたことを受け、画像により簡便に運転状況を記録する装置の開発を進めている。図2のように映像カメラを用いる装置であることから、このシステムを利用し画像認識による手法と、赤外線による測距が可能な市販センサにより距離情報のある映像を作成する手法の2つにより、検出・判定ソフトウェアを製作し基本的な検知性能の有無について試験を行うこととした。表2、表3にセンサ部分の諸元を示す。

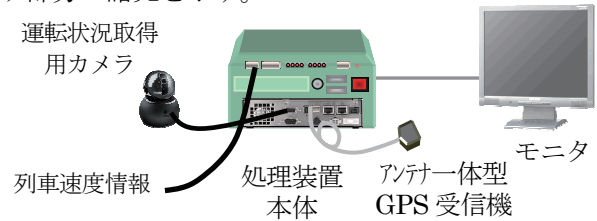


図2 映像型運転状況記録装置のシステム構成

表2 赤外線測距センサの諸元

項目	仕様
センシング	近赤外線パルスレーザ光 870 ナノメートル
検出範囲	60 x 60 度
画像出力	47 x 47 画素
距離測定方式	TOF (光飛行時間方式)
フレームレート	3
対応光度	0-100,000 ルクス* *太陽光を受ける環境の照度に相当

表3 映像カメラの諸元

項目	仕様
映像取得部	1/3 インチ Super HAD Color CCD
画像出力	512x492 画素
最低対応光度	0.1 ルクス (F:1.2)
ゲインコントロー	オートマティック (change infrared mode)
フレームレート	1~30 (設定可能)

2.3 検出方法の検討

映像カメラ及び赤外線測距センサによる頭部の検出法及び頭部・腕部位置による正常/異常判定手法について以下(1)~(4)のとおり述べる。

(1)赤外線測距センサによる頭部検知

図3に示すように、天井に設置したセンサにより検知を行う。その際に挙げた腕等を検出しないよう、以下の2項目を

- 満たすものを頭部として検知する。
- センサに最も近いもの
- 事前に設定した値以上の面積があるもの

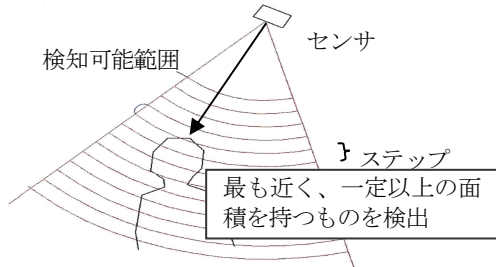


図3 測距センサによる頭部位置検出

(2) 映像カメラによる頭部検知

映像から物体の輪郭検出に一般的に用いられるHough変換法を適用し、制帽の円を検出することとした。

(3) 頭部位置からの正常/異常判定

(1)、(2)により検出された頭部の位置により、図4のように事前に設定した通常の範囲内に所在しているか否かにより姿勢に関する異常の判定を行う。

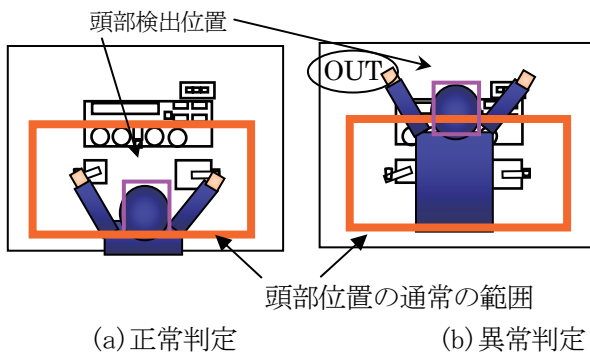


図4 頭部位置による姿勢の正常/異常判定

(4) 腕部による運転操作の正常/異常判定

腕部については、映像カメラ、測距センサ共に通常ノッチハンドルを握った状態で腕部が所在すべき空間に、物体を検知すれば腕と判断することとする。

測距センサではセンサからの距離情報が利用できることから、図5のように、設定した範囲の一定高さ範囲(最小距離-最大距離の間)に物体があるかどうかで床、脚部等を誤検出することが無いようセンサからの距離情報を含めて判定を行いより精度向上を図ることとする。

画像カメラについては、検出した腕部について、図6のとおり正常な範囲にない場合に異常と判定することとなる。

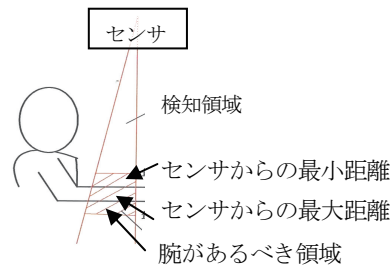


図5 測距センサによる腕部位置検出

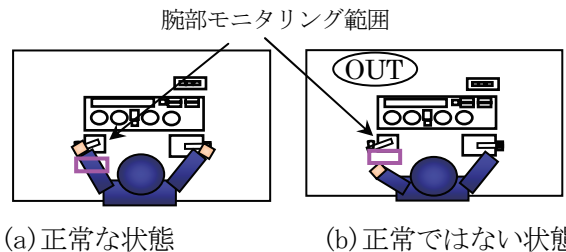


図6 腕部位置による異常の検出方法

3. 試験結果

鉄道事業者の所有する実物大鉄道運転シミュレータを借用し、制服を着用した実際の運転士の方の協力を得て検出試験を行った。

3.1 赤外線測距センサによる試験結果

ワンハンドル・ツーハンドルの両者について基礎試験、シミュレータの通常の運転時、異常な状態での運転試験の順に行った。センサ部は図7のように運転席天井に設置し、ツーハンドル式においては腕部を検出すべき範囲をブレーキハンドル(右手側)と決め、右腕肘付近に設定した。

センサ
(頭部・腕部)



図7 シミュレータ上での試験状況

(1) 基礎試験

ハンドルを各段に入れ、状況で制服・制帽着用でハンドルを握る、手を添える、離す、上体を前後左右に最大限振る、等での頭部・腕部の検出能力を試験した。また照明を消した状況で同じ試験を再度行い、照明の有無に関わらず正しく検出することができること、危険側の誤検出は生じないことを確認した。

図8は右手を不正に放して挙げた際の検出結果(背景画像を除去した距離画像)である。同図中①の枠は、頭部の検出位置、②の枠は腕部の検出範囲、③の枠は頭部が通常存在すべき範囲である。②の枠内に腕部が無いことを検知し、かつ頭部位置は正しく検出したまま警告を表示していることが分かる。

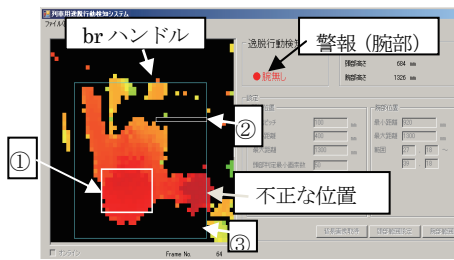


図8 センサ出力例

(2)運転時の動作試験

5駅各駅停車、所要10分間の区間について通常の運転を行って頂いた。駅停車中に運転士が図9のように後方確認を行うことを含むが、今回は速度情報を与えていないため、この動作は異常と判定される。図10の試験結果では、A~F全駅で後方確認しているが、その際には警報出力し、運転中は頭部・腕部の判定とも確実に実行されておりほぼ100%の検知性能であった。また運転中の姿勢の変化について図11のように連続して軌跡(距離情報含む)も得られ、今後異常検出を時間変化を利用して行うことも考えられる。

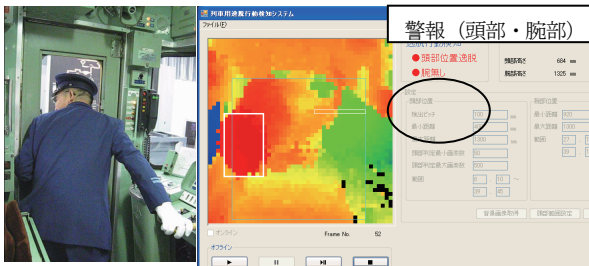


図9 後方確認時の写真(左)及びセンサ出力(右)

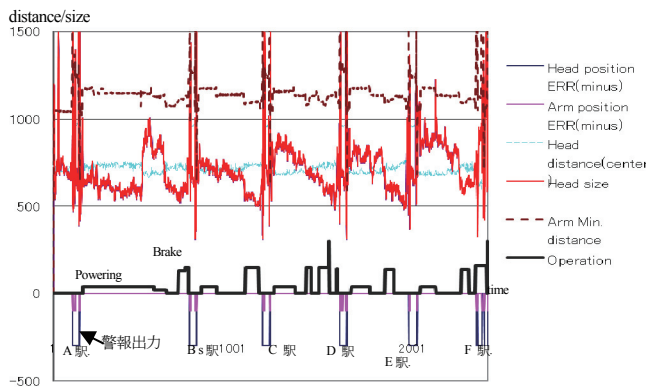


図10 試験結果(ワンハンドル車)

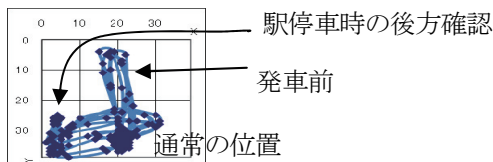


図11 頭部中心位置の軌跡(図10の区間)

(3)運転中の異常発生

運転中に、意図的、手を膝に下ろす、うつ伏せになる等の異常状況を作り、検出試験を行った。

試験の結果、腕部検出領域が頭部の影に隠れる等により、検出結果がばたつく傾向が見られ表4のように検出できない時間が生じたが危険側の誤検出は見られず、異常が生じたこと自体は検出することができた。

表4 誤検知時間割合(安全側)

姿勢(頭部)	運転操作(腕部)
0.9%	1.1%

3.2 映像カメラによる試験結果

動画(30フレーム/秒)により、ツーハンドル式のシミュレータ及び実列車において試験を行った。

Hough変換によるエッジ検出(円検出)による制帽の検出と、制帽の後部と襟のパターンマッチング法による検出法の2方式のリアルタイム検出処理とした。図12、図13に出力結果(実列車上)を示すが、いずれの方法においても、制帽の角度、トンネル入出等の環境変化により、画像では検知不能な場合も多くみられ、安定しないことが分かった。

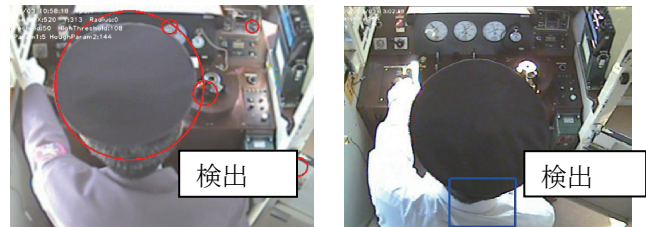


図12 Hough変換による映像からの検出



図13 検出不能時(トンネル内)

4. まとめ

他分野におけるセンサ技術等を用いることにより、異常をモニタリングする手法の検討及び赤外線測距センサ、映像カメラを用いる場合の検出性試験結果について報告した。カメラは安価であるが、周辺の光量変化等の影響を受けやすく簡単なアルゴリズムでの画像解析では検知精度を得ることができなかったが、赤外線測距センサにおいては、基本的な検知性能はあるものと見られる。今後は検知範囲の適切な設定方法や、検知精度の定量的評価が課題と考えられる。

参考文献

(1) Jun Yoshinaga, Takeshi Mizuma "The study of driver's abnormal behavior detecting method for prevention of accidents of Human-errors", IEEJ The Papers of Technical Meeting TER-08-27 LD08-27(2008)