

⑬ 列車の運転状況記録装置データを活用した安全性向上方策に関する研究

交通システム研究領域 ※田中 佑輔 廣瀬 道雄 日岐 喜治

1. はじめに

日本の鉄道においては、平成 17 年 4 月の福知山線列車脱線事故を受けた技術基準の改正により、1 時間あたりの最大運行本数が往復 10 本以上の線区を走行する車両及び運転速度が 100km/h を超える車両について、平成 28 年 6 月までに運転状況記録装置を整備することが義務づけられ、現在その整備率は 97% (平成 27 年 3 月末時点) となっている¹⁾。また、同事故を調査していた航空・鉄道事故調査委員会 (当時、現・運輸安全委員会) の建議 (平成 17 年 9 月) においては、運転状況記録装置に関し、インシデント等については、その状況を正確に把握し、分析して活用することが、事故の防止に効果的である旨が指摘されているところである²⁾。

このような状況を踏まえ、運転状況記録装置の活用状況について主要な鉄道事業者に対するヒアリングを行ったところ、ほとんどの事業者では、乗務員からの申告や車両故障等、正常ではない事象を覚知した際に利用する場合があるものの、日常的な運行データの分析利用は行っていないことが分かった。この理由としては、速度の検出精度が低い、正確な列車出発位置の特定が困難、データの回収・閲覧についての社内の理解が広がらない等の課題が多く挙げられた。

本研究においては、運転状況記録装置の活用を推進し、もって鉄道の事故防止、安全性向上に資するため、前述の課題も踏まえ、当研究所の鉄道運行安全性評価シミュレータと列車の運転状況記録装置のデータを利用し、位置誤差補正方法及び事故・インシデントの判定抽出方法並びに運転状況記録装置の活用方策に関する研究を行ったので、運転状況記録装置の国際規格化の動向等とあわせて報告する。

2. 事故・インシデントの判定抽出方法

2. 1. 位置誤差補正方法の提案

運転状況記録装置の速度の検出精度が低いこと及び正確な列車出発位置の特定が困難であることについては、車輪の回転による速度の検出精度の問題であるため、高精度のレーザドップラ車速計及び衛星測位を利用して加速時、減速時、惰行時の運転状況記録装置 (民鉄に広く普及している機種) の速度の検出精度を把握するとともに、出発位置の特定ができるかの試験を行い (図 1)、その結果から、真の走行距離を利用して運転状況記録装置のデータを補正する方法をとりまとめた。

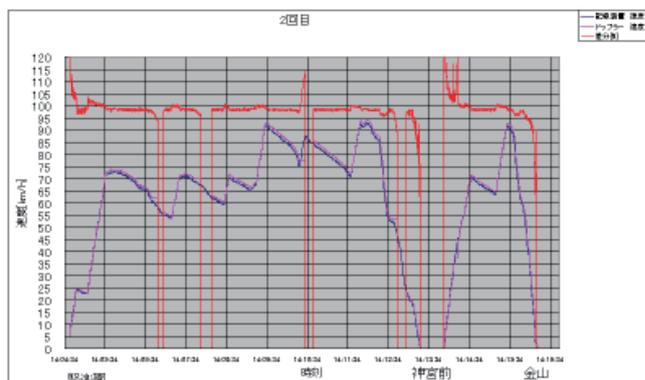


図 1 運転状況記録装置の速度精度比較試験 (上：誤差状況、下：レーザドップラ車速計)

2. 2. インシデント等の判定アルゴリズムの構築

次に、運転状況記録装置に記録されるデータのうち、列車位置、運転操作及び速度の情報から、正常ではない状況を検出するプログラムの開発を行った。

実際に生じている事故事例を参照したところ、速度制限を超えて運転されるインシデント等（保安装置が設置されていない箇所におけるもの）が発生しており、速度超過が発生する恐れがある場所において速度超過となる前に検出する方法が有用と考え、鉄道運転シミュレーション（列車運行安全性評価シミュレータ）により、起こりうる速度超過シナリオ及び検出プログラムを作成し、その検出を行う試験（図2左）によりプログラムの有効性を確認することとした。

具体的な場面については、中小民鉄事業者の協力を得て、単線の実在の鉄道線において、速度超過が生じる可能性が考えられる具体的な駅間及びシナリオ並びに警告が必要なケースと警告が必要ではないケースを検討した。

その結果、試験を行う駅間は、速度制限区間（図2右）を含むA駅からB駅までの区間とし、シナリオとして速度制限区間についての以下の①②（図3参照）のインシデントを想定することとした。

- ①速度制限区間に対するブレーキ遅れ（運転操作の失念を想定）
- ②速度制限区間に対する速度超過（所要時分短縮のための加速を想定）



図2 中小民鉄会社を対象とした試験
(左：試験の様子、右：速度制限区間の現地写真)

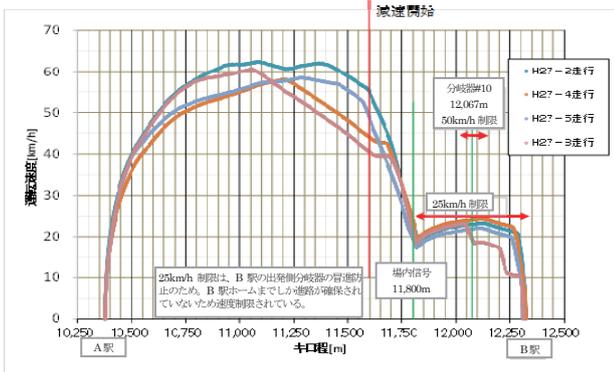


図3 インシデント等と判定すべき運転シナリオ
以上を踏まえ、列車運行安全性評価シミュレータ上に当該駅間の精緻な線路形状を作成し、運転士が駅間を走行し、インシデント等があれば警告を行うプログラムを実装した。プログラムでは、インシデント等が

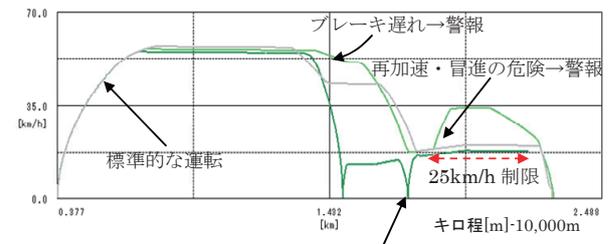
生じたと判定された場合には、警告を音で運転者に知らせることとした。

試験は、単線の実在の鉄道線の線路形状データをシミュレーションし、当該鉄道事業者の運転士及び運転士経験者が運転する方法で行った。

図4は、試験結果である。標準の運転に比べて、ブレーキが遅くなる場合や、速度制限区間内において再加速を行い速度超過となる場合に、事前に検出し、警告を発出することが確認できた。

アンケートは、運転後において「習熟すれば効果ありといえる ・ 効果はないといえる ・ その他」の選択及び速度超過を検出するタイミングについての自由意見を聞いた。

運転士の意見から、作成したプログラムにインシデントを判定する効果があることが確認された。自由意見としては、速度超過に対する防止効果があるという結果も得られた。



信号による停車・加速は正常→警告を行わない

図4 運転士による運転試験結果（2ケース）

3. 運転状況記録装置の活用方策

ブレーキを動作させる地点（ブレーキ点）は、ダイヤ計算上必要な情報であるが、基本的には運転士の操作に任されており、運転ダイヤに用いられる運転パターンとは一致しない可能性があるため、実運行を把握することが可能となれば、最適な運転曲線の作成が可能となる。

そのため、ブレーキ点の実状及び減速が必要な箇所に対するブレーキ点の位置を把握するため、運転状況記録装置のデータからブレーキ点の位置を計算するとともに、曲線や分岐器等の速度制限箇所に対して減速するためのブレーキ点については、勾配等の力学計算をシミュレータにより行い安全上の限界点を求め、現在のブレーキ点からの余裕時分を算出する手法により研究を行った。

同一車両において連続する3日間の9回の走行データを大手民鉄事業者の協力により入手し、これを研究材料として、ブレーキ点の位置抽出と、余裕時分を算出する研究を行うこととした。

3. 1. ブレーキ点からの余裕時分の算出

図5は、ある駅間データを抽出し、誤差を補正した上で列車運行安全性評価シミュレーション上で再現を行った、列車9回分の運転曲線である。すべての列車が左から右に進行しており、途中の閉そく信号機の現示は不明であるが、出発時にダイヤ上の遅延がなく発車したことは確認している。

黄緑色のグラフは、鉄道事業者におけるダイヤ計算上の標準運転曲線であり、赤いX軸との平行線は速度制限区間を示している。

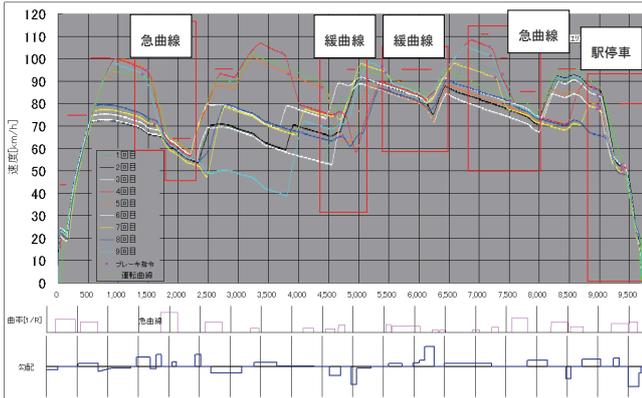


図5 標準運転曲線と運転状況記録装置データとの比較

図6は、図5のうち2000m付近の急曲線(25km/h以上の減速を伴うもの)部について拡大したものである。この速度制限に対して減速するための安全上の限界は、同図中に点線で示す曲線のように車両の減速度と線路の勾配から求め、この曲線とブレーキ点(点で示している)との距離(図中の緑色の矢印の部分)を運転上の余裕と捉えることとして、余裕時分の算出を行った。

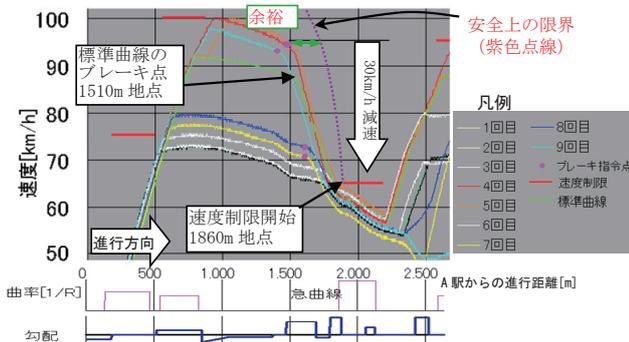


図6 急曲線部のブレーキ点及び安全上の限界、余裕時分の算出結果

3. 2. ブレーキ操作位置のばらつきに関する分析

運転曲線について、標準運転曲線と比較してより高速な運転グループ(高速運転)と、より低速な運転グループ(低速運転)とに分けて運転速度平均を求め、

それぞれのグループにおけるブレーキ点のばらつきを求めたところ、図7のようになることが分かった。

図7及び表1より、運転速度に関わらず余裕時分の平均は6.5秒~8.2秒(駅停車では5.2秒)と、比較的長いことが分かった。ただし、短い場合は急曲線部ではなく緩曲線部に多く見られ、1.6秒、4.5秒と比較的短いことが分かり、ブレーキ操作を失念してしまう場合に対しては、この時間内においてブレーキの失念等について警告を示すことで正常な運転に回復させられる余地があることが分かった。

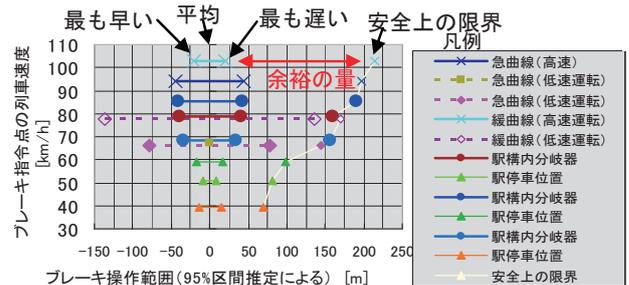


図7 減速の対象物別 運転速度別の余裕時分の比較

表1 図7の総括表

減速する対象	平均速度[km/h]	余裕時分平均[s]	余裕時分最短[s]
急曲線(高速運転)	94	7.6	5.9
急曲線(低速運転)	66	6.5	4.5
緩曲線(高速運転)	103	7.5	6.7
緩曲線(低速運転)	77	7.9	1.6
駅構内分岐器	78	8.2	5.4
駅停車位置	46	5.2	4.9

また、図8・図9はブレーキ点のばらつきを駅分岐器部と緩曲線部とで比較したものである。緩曲線部に対してはブレーキ点のばらつきが比較的大きいことが分かり、後日の調査では、駅分岐器部や急曲線部に対してはブレーキ点を事前に決めている運転士が多いが、緩曲線部ではあまり明確ではないという意見があり、ブレーキ操作の失念・速度超過は緩曲線部でも考えられることが分かった。

以上により、これらの運転特性を考慮した、実情にあった標準運転曲線作成の可能性が示された。

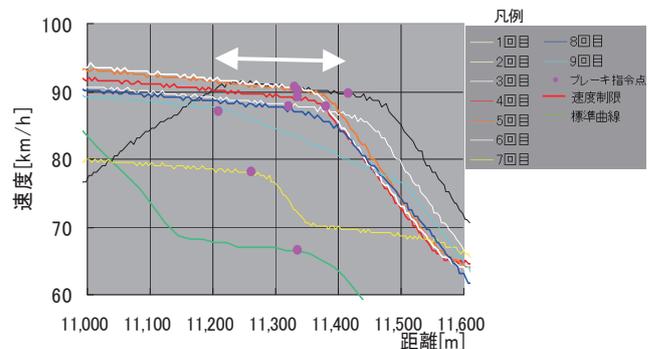


図8 駅部の分岐器に対する減速時

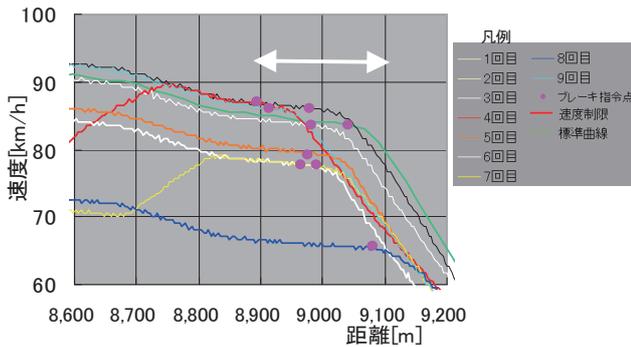


図9 緩曲線(750R)に対する減速時

4. 運転状況記録装置の国際規格化・普及促進

4. 1. IEC 62625 (On board driving data recording system) 規格審議

運転状況記録装置の国際規格化については、欧州より「車上運転データ記録システム」として EN 規格 (European Norm: 欧州統一規格) をベースとした規格案が提案され、その内容は頑強な構造の専用装置を搭載することを前提とした規格及び試験方法を定めるものであったが、日本の技術基準では取り付け位置の工夫等による防護が可能であるとの主張を行った。その結果、日本の技術基準に適合した列車用運転状況記録装置の方式を含める修正案を提示し、規格案に日本の技術基準に適合した装置を反映することができた。

4. 2. 映像型運転状況記録装置の実用化

日本で普及している運転状況記録装置は、ほとんどが車両内の各機器との結線によって速度・運転操作等を数値データで記録するもの又は車内情報システムを利用して配線により数値データを記録するものである。そのため、取り付けのための設計は車種別に行わなければならない、この装置の普及の妨げとなっている。

しかし平成26年に、周辺状況や列車位置を特定しやすい点で優れた点が評価され、交通研が技術指導した、カメラにより運転状況を記録する方式 (映像型) の運転状況記録装置が軌道事業者に採用されたところである。採用された装置は本体装置及びセンサ (前方撮影カメラ、車内撮影カメラ、GPS、マイク) で構成されている。

この方式は、結線が不要であるため既存の車両への設置が容易であるという特徴があり、また、映像であるため記録される情報量が多いことから、現時点では運転状況記録装置を搭載していない (又は搭載が技術

的に困難な) 鉄軌道事業者に対する普及促進につながるものと考えられる。



図10 映像型の運転状況記録装置の設置状況 (上: 運転台周辺、下: 運転台後方)

5. まとめ

本稿では、列車の正確な位置把握のための位置誤差補正方法及び事故・インシデントの判定抽出方法並びに運転状況記録装置の活用方策について、運転状況記録装置の国際規格化の動向等とあわせて報告した。

運転状況記録装置の活用が進まない要因の一つである位置誤差の問題について、その補正方法を提案するとともに、運転状況記録装置のデータから正常ではない状況を検出するプログラムを開発し、シミュレーションによる試験により有効性があることを確認した。

また、運転状況記録装置のデータの具体的な活用方策として、ブレーキ点からの余裕時分を算出し、最適な標準運転曲線を作成できる可能性を提示した。

さらに、運転状況記録装置の国際規格化及び映像型運転状況記録装置の実用化についても触れた。

6. 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報 (平成26年度)」平成27年7月
- 2) 航空・鉄道事故調査委員会「鉄道事故調査報告書 西日本旅客鉄道株式会社福知山線塚口駅～尼崎駅間列車脱線事故」別添1「西日本旅客鉄道株式会社福知山線列車脱線事故に係る建議」平成17年9月