

携帯情報端末を活用した列車巡視支援方法に関する検討

田中 博文* (鉄道総研)

Study on Train Patrol Support Method using Smartphones

Hirofumi Tanaka*, (Railway Technical Research Institute)

The author has been studying a low-cost track condition management method using smartphones. In this study, as a part of this effort, the author examined support for train patrol in addition to train vibration management using smartphones. Specifically, a simple train patrol support method was developed by synchronously displaying the total amplitude of train vibration and train speed on the video data recorded by smartphones.

キーワード: スマートフォン, 列車巡視, 列車動揺, 維持管理標準, 低コスト, 省力化, DX
(Smartphone, train patrol, train vibration, maintenance standard, low cost, labor saving, digital transformation)

1. はじめに

少子高齢化に伴い鉄道利用者および鉄道従事員が減少する中、さらに近年はコロナ禍の影響を受け、鉄道事業者各社は厳しい経営状況にある。中でも、鉄道事業者は、鉄道車両を安全・安定に運行するため、鉄道施設・鉄道車両等の適切な検査を実施し、維持管理を行う必要がある。

一方で、近年、デジタル技術の飛躍的な進展により、このデジタル技術を活用した鉄道業界における業務変革、いわゆる「鉄道 DX」(鉄道デジタルトランスフォーメーション)の推進について、各所で検討が進められている。その一つとして、スマートフォンに代表される携帯情報端末(以下、「携帯情報端末」という。)の活用が考えられる。携帯情報端末は多くのセンサを内蔵しており、また汎用品であることから専用機器よりも低コストである。これを鉄道の維持管理に適用できれば、維持管理の低コスト化が実現できると考えられる。さらに、デジタル技術を駆使することによって、維持管理の省力化・高精度化も実現できる可能性がある。このような取り組みは、既に道路分野で進んでおり、そのいくつかは既に社会実装が始まっている⁽¹⁾⁽²⁾。

著者は、このような背景のもと鉄道施設の維持管理への携帯情報端末の活用を目指し、地域鉄道事業者でも導入可能な低コストな軌道状態管理手法に関する検討を行っている⁽³⁾。本研究では、その一環として、携帯情報端末を活用した列車巡視業務の支援方法について検討した。具体的には、携帯情報端末で収録した画像データに列車動揺の全振幅値と列車速度を同期表示させることによる、簡易的な列車巡視支援方法を開発したので、その結果について、実際の鉄道路線での試験適用例を示しながら報告する。

2. 鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)における列車巡視および列車動揺検査の位置付け

〈2・1〉 列車巡視 2007年1月に国土交通省鉄道局長から通達された「鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)⁽⁴⁾(以下、「維持管理標準」という。)においては、線路の巡視は、「線路の状態の全般的な把握のため、巡視を行うものとする。」と、記載されている。また、その方法は、「線路巡視は徒歩、列車又は軌道モーターカー等によるものとする。」と、記載されている。ここで、「徒歩による巡視は、軌道状態の細部や線路周辺環境を総合的に確認するのに有効であり、列車や軌道モーターカーによる巡視(以下、「列車巡視」という。)は、車両の挙動と軌道状態との関係を把握するのに有効である。」とされている。

また、2007年3月に鉄道総研から発行された「鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)の手引き⁽⁵⁾(以下、「維持管理標準の手引き」という。)では、列車巡視においては、「異常な列車動揺の有無、きしみ音の有無、列車の運行に対する支障の有無、その他の異常の有無などについて確認する。」とされている。

実際の列車巡視は、多くの場合、鉄道従事員が列車等の前頭に添乗し、上記を含めた多岐にわたる項目を目視で確認し、野帳等に記録することが一般的である。また、その頻度は、鉄道事業者へのアンケートの結果⁽⁵⁾、鉄道事業者によって異なるが、最低でも1回/月、多い場合は1回/日となっており、多くの人工を必要としている。

〈2・2〉 列車動揺検査 維持管理標準においては、列車動揺検査は、軌道状態検査の一つである軌道変位検査の一部とされている。また、維持管理標準の手引きにおいては、

「軌道状態検査のうち、列車動揺検査は、軌道変位検査を補うもの」として位置付けられている。これは、列車動揺検査は、車両のダイナミックな運動に対する走行安全性の評価には優れているが、平面性変位や軌間変位のように、走行安全性に直結しかつ列車動揺に直接現れない項目があり、列車動揺検査のみで走行安全性の全てが評価できるわけではないと考えられているためである。

ここで、維持管理標準の手引きには、以下のような列車動揺測定機器が記載されている。

- (1) 極めて簡易な動揺計 (列車動揺駒, 電子動揺駒)
- (2) 運搬可能な振動加速度測定装置 (機械式動揺計, 電気式動揺計)
- (3) 列車に常時搭載されている振動加速度測定装置 (自動動揺測定装置)

なお、上記(1)は、非常に安価である一方で、簡易な方法であり、体感による方法よりも個人差が少いと言われながらも、数値での管理は困難である。上記(2)や(3)は、精緻な管理が可能であるが、導入コストが高い。これらが影響しているものと考えられるが、著者らが別途調査した結果によると、地域鉄道事業者では、上記(2)や(3)による列車動揺検査を実施している割合は少ない。

3. 携帯情報端末を活用した列車巡視の概要

〈3・1〉 携帯情報端末を活用した列車巡視に求められる要件 本研究では、2章で述べた維持管理標準に定められた列車巡視の位置付けを踏まえ、地域鉄道事業者でも導入可能な低コストな列車巡視の支援方法を検討している。具体的には、一般に市販されている汎用の携帯情報端末および既開発のアプリケーションソフトウェア (以下、「APP」という。) の活用を想定している。ここで、2・1 節で述べたように、列車巡視において鉄道従事員は目視で多岐にわたる項目を確認・記録しており、これについては携帯情報端末によって取得可能な画像の活用を検討する。その際、画像にキロ程を付与することが重要と考えられる。併せて、列車巡視の際に鉄道従事員が体感で確認している列車動揺については、携帯情報端末による加速度の活用を検討する。その際、加速度のデータを取得することによって、2・2 節で述べた列車動揺の数値での管理も可能となる。これについては、文献(3)において検討済みのため、本稿では省略する。

〈3・2〉 本研究で使用する携帯情報端末と APP の概要

本研究では、前述した要件を満たすものとして、携帯情報端末は Apple 社製の iPhone シリーズを、APP は「iDRIMS measurement」⁽¹⁾ (Dynamic Response Intelligent Monitoring System measurement app for iOS, 以下「iDRIMS」という。) を活用した。iDRIMS は、既に道路分野で社会実装されている APP であり、道路維持管理用のパトロールカー等に設置し、路面凹凸管理のために車両応答を計測するとともに、画像の取得が可能である。

表 1 に、iDRIMS の計測項目とサンプリング周波数の一覧を示す。iDRIMS は、GPS レシーバによって移動速度と

緯度・経度を、加速度センサによって 3 軸の加速度を、ジャイロ (角速度) センサによって角速度を、カメラによって画像 (動画・静止画) を、マイクロフォンによって音声それぞれ計測可能である。

表1 iDRIMSによる計測項目の一覧

センサ	測定項目	サンプリング
GPSレシーバ	移動速度	1Hz
	緯度・経度	
3軸加速度センサ	X, Y, Z	100Hz
3軸ジャイロ(角速度)センサ	x, y, z	
カメラ(背面カメラ)	動画/静止画	30fps
マイクロフォン	音声	44.1kHz

〈3・3〉 鉄道車両への携帯情報端末の設置方法 鉄道の列車動揺管理のために加速度を測定する場合、維持管理標準の手引き⁽⁵⁾においては、正確な測定を行うために、列車動揺計は鉄道車両の最前部前車または最後部後車上の床面に、列車進行方向に対して真直ぐになるように配置すること、と示されている。

一方で、携帯情報端末の活用を想定した場合、鉄道車両内、例えば運転室内の床面に設置すると携帯情報端末本体に内蔵されたGPSレシーバは、鉄道車両の構体が遮蔽物となるために受信感度が低下する。そのため、GPSの受信感度を向上させるには、携帯情報端末を鉄道車両のフロントガラス面に両面テープ等で設置することが考えられる。図1に、携帯情報端末の設置方法を示す。同図のように設置することで、GPSの受信感度が向上するだけでなく、列車前方の画像 (以下、「前方動画」という。) を取得することも可能となる。なお、この位置に携帯情報端末を設置した際の列車動揺の測定値については、床面に設置した際と比較して、車両形式によってばらつきはあるが、車両のピッチングの影響などを受け5~15%程度大きくなることが確認されている⁽³⁾⁽⁶⁾。

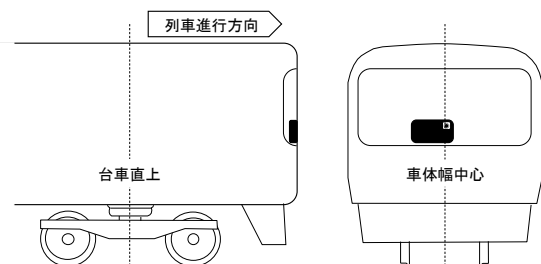


図1 鉄道車両への携帯情報端末の設置方法

〈3・4〉 計測データの処理方法の概要 携帯情報端末によって計測されたデータは、図2に示す手順で処理を行う。まず、計測データは、Apple 社製のメディアプレイヤーである「iTunes」を用いて PC に取り込む。その後、加速度・角速度データ、および GPS データについては、「iDRIMS Resampler」⁽³⁾を用いてサンプリング間隔補正のための前処理を行う。その後、加速度・角速度データ、および GPS データについては、軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」⁽⁷⁾を用いて、フィルタ処理、時間・距離変換、

キロ程付与などのデータ処理を行う。LABOCS とは、鉄道総研が開発している軌道関係データの処理に特化した信号処理ソフトウェアである。データ処理の手順については、文献(3)に詳細に示している。このような処理を行うことで、例えば、しきい値を超過した加速度発生箇所を抽出し、リスト出力することが可能となる。

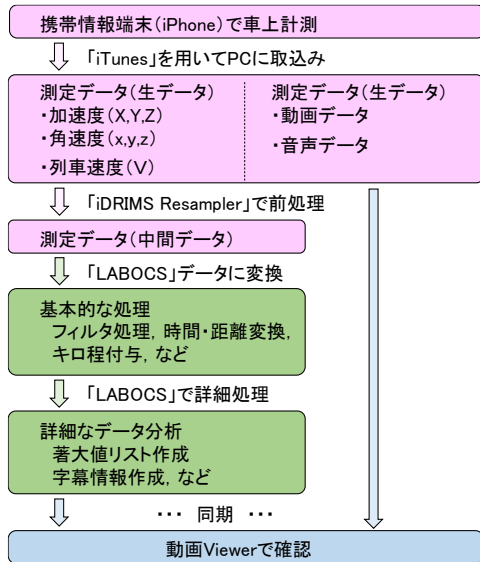


図2 計測データの処理方法の概要

〈3・5〉 前方動画データの処理方法 携帯情報端末によって取得された前方動画データを列車巡視に活用するには、キロ程の付与が必要となる。また、前方動画データと加速度データとの関連付けも有効と考えられる。ここで、図2に示すように、iDRIMSによって取得される前方動画データは、加速度・角速度および列車速度データと時間軸上で同期している。そのため、前述のLABOCSの既存機能を用いて、時間軸の列車速度データと前方動画データのサンプリング間隔(動画フレームレート)から、動画を構成する画像のフレーム番号の時間軸データを生成し、距離軸データに変換することが可能である。図3に、前方動画へのキロ程付与方法の概要を示す。図3(a)に示すように、時間軸上のデータでは駅停車中の列車速度は0である。この時、動画フレーム番号は、列車速度に関係なく、時間の経過とともに線形的に増加する。次に、図3(b)に示すように、時間軸の列車速度を時間軸上で積分することによって、列車の移動距離を求めることができる。この列車速度の時間・距離変換情報を用いて、動画フレーム番号についても時間・距離変換を行う。動画フレーム番号の変化は、列車速度に反比例するため、列車速度が速い場合はゆっくりと増加し、列車速度が遅い場合は早く増加する。また、列車が停車している場合は、停車時間に比例して動画フレーム番号のみが増加する。

次に、新たにLABOCSに実装した機能を用いて、キロ程を付与した加速度・角速度データおよび列車速度データから、一定区間(例えば、25m ロット)ごとの加速度の最大値と列車速度の字幕情報ファイルを生成する。この字幕情

報ファイルを動画 Viewer に前方動画データと同時に読み込ませることで、動画上に字幕情報を表示することが可能となる。さらに、音声データも同時に読み込ませることで、前方動画に音声に関連付けて確認することも可能である。

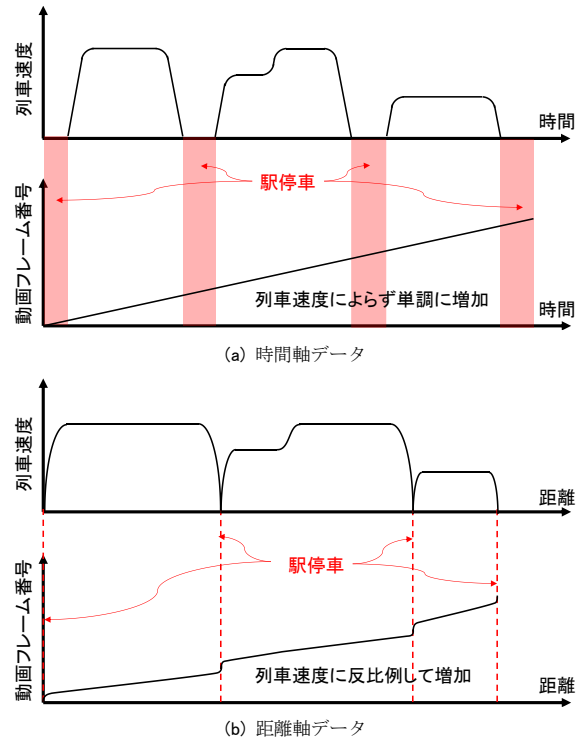


図3 前方動画へのキロ程付与方法の概要

4. 地域鉄道事業者における試験適用事例

〈4・1〉 試験計測の概要 試験計測は、地域鉄道事業者の車両(営業列車)を用いて、路線の一部区間の23駅間、約41.5kmの単線を、往復で実施した。測定区間の大部分は、バラスト軌道の定尺レール軌道である。図4に、営業列車への携帯情報端末の設置状況を示す。同図に示すように、試験計測した車両は貫通扉式の車両であり、携帯情報端末は貫通扉のガラスの最下部に両面テープで固定した。

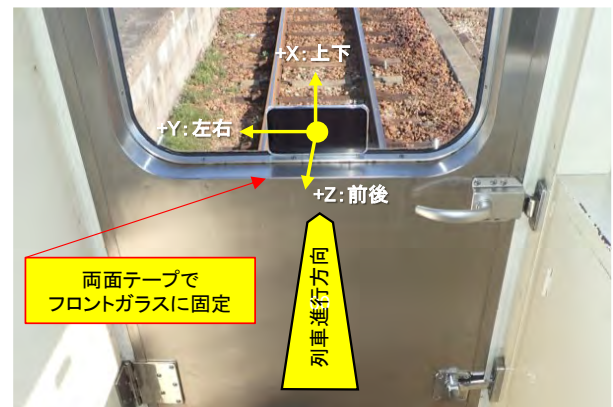


図4 営業列車への携帯情報端末の設置状況

〈4・2〉 列車動揺の処理結果の例 図5に、計測区間中において比較的大きな上下動揺が観測された箇所の列車動揺

の波形例を示す。なお、列車動揺は、8Hz のローパスフィルタ (LPF) 処理を施している。また、キロ程は、測定開始駅を 0K000M として付与している。同図より、表示区間の中ほど (22K650M 付近) において、全振幅が 5m/s^2 を超える大きな上下動揺が発生していることがわかる。また、その他の箇所においても比較的大きな上下動揺が複数発生していることがわかる。

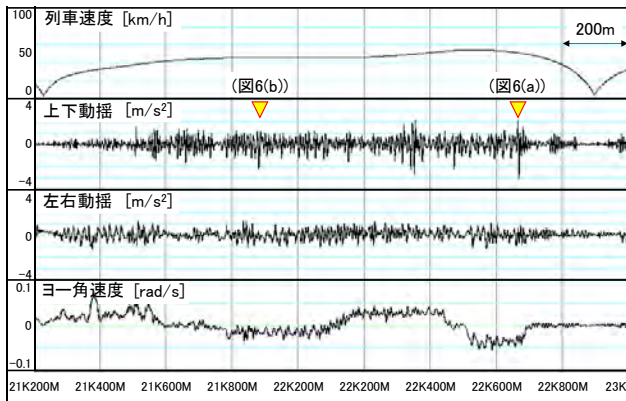


図 5 列車動揺の波形例

〈4・3〉 前方動画の処理結果の例 図 6 に、図 5 で上下動揺が大きな値を示した箇所 (図中の▽の箇所) の前方動画を示す。図 6(a) に、22K650M 付近の前方動画を示す。同図より、当該箇所は、緩和曲線中の踏切箇所であり、軌間内に雑草が繁茂していることから道床劣化が進行し、バラスト中に細粒分を多く含んでいると考えられる。図 6(b) に、21K870M 付近の前方動画を示す。同図より、当該箇所は、緩い曲線中の継目箇所であり、道床が白色化していることがわかる。このような箇所は、まくらぎがあおっていると考えられる。なお、当該線区では、同様の箇所が多数確認されている。列車動揺と前方画像を同期して確認することで、列車動揺の著大値発生箇所の前方動画から、軌道状態や周辺環境を合わせて確認し、保守の優先順位の検討などにも活用が可能と考えられる。

5. まとめ

本研究では、携帯情報端末を活用した低コストな軌道状態管理手法に関する検討の一環として、列車巡視業務の支援方法について検討した。得られた知見を以下に列挙する。

- (1) 携帯情報端末を営業列車のフロントガラス面に設置し、前方動画と列車速度・加速度を同時に取得することで、目視による軌道状態の確認と、体感による列車動揺の確認を補助する列車巡視支援方法を提案した。
- (2) 携帯情報端末で取得した前方動画を、同時に取得した列車速度および加速度データと同期解析し、前方動画に対して、キロ程に加えて列車速度や列車動揺の最大値などを字幕情報として表示する方法を提案した。
- (3) 提案手法を地域鉄道事業者において試験適用し、その効果を検証した。その結果、列車動揺と前方画像を同期して確認することで、保守の優先順位の検討などにも活用

可能なことを示した。

本手法を活用することにより、鉄道事業者の列車巡視業務が軽減されるだけでなく、列車巡視に合わせて数値による列車動揺管理も実現できることになる。また、軌道検測車による動的軌道検測が実施できていない地域鉄道事業者においては、動的な軌道状態を簡易に把握できる観点からも有用と考えられる。

今後は、本手法の軌道の維持管理への本格的な適用を前提に、鉄道専用の列車巡視支援 APP の開発を進めていく予定である。本手法が、地域鉄道事業者を含めた鉄道事業者の軌道の維持管理の一助となることを期待する。



(a) 例 1 (22K650M 付近, 踏切箇所)



(b) 例 2 (21K870M 付近, 継目箇所)

図 6 前方画像への字幕情報の表示例

文 献

- (1) JIP テクノサイエンス: <https://www.jip-ts.co.jp/drims/> 2022.10.17 閲覧
- (2) スマートシティ技術研究所: <http://intro-ipc.smc-road.com/> 2022.10.17 閲覧
- (3) 田中博文, 蘇迪, 長山智則: 携帯情報端末を活用した低コストな軌道状態管理に関する基礎的検討, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.22, pp.39-46 (2018)
- (4) 国土交通省鉄道局: 通達 鉄道構造物等維持管理標準の制定について, 国鉄技第 73 号 (2007)
- (5) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準 (軌道編) の手引き (2007)
- (6) 川崎恭平, 田中博文: 携帯情報端末を活用した列車巡視業務等支援ツールの開発, 新線路, 第 76 巻, 第 1 号, pp.19-23 (2022)
- (7) 鉄道総合技術研究所, ジェイアール総研情報システム編: 軌道保守管理データベースシステム LABOCS Ver.4.2 使用説明書(2020)