

# 列車巡視の効率化と品質向上を目的とした スマート動揺判定アプリ

村上 真・田中 浩平・横川 雅成

鉄道の維持管理を目的に定められた頻度（週1～2回）で工務系社員が列車に添乗して巡視を行っており、これに多くの労力がかかっている。本稿ではこの巡視の効率化と品質向上を目的に開発したスマート動揺判定アプリについて、その機能の概要と巡視への適用の可能性を検討した内容について紹介する。  
キーワード：鉄道、列車、動揺、巡視、スマートフォン、効率化、品質向上、生産性向上

## 1. はじめに

スマート動揺判定アプリは、スマートフォン1つで列車の動揺測定および前頭映像の撮影が可能なアプリケーションである。鉄道の維持管理を目的に定められた頻度（週1～2回）で工務系社員が列車の運転室に添乗して巡視（以下、列車巡視）を行っており、これに多くの労力がかかっている。本稿では列車巡視の効率化と品質向上を目的に開発したスマート動揺判定アプリ<sup>1)</sup>について、その機能の概要と列車巡視への適用の可能性を検討した内容について紹介する。

## 2. アプリの開発目的

線路の保守管理を目的として日常的に工務系社員が列車巡視を行っているが、この作業は長時間にわたる上、着眼点も多種多様であるために、実施者には技術・技能が求められ、多大な負担がかかる。さらに、線路設備の管轄部署は複数に跨っており、重複して目視点検を行っているという実態もある。これには、例えば列車前頭に設置されたカメラ映像を用いる取り組みも提案されているが<sup>例えば2), 3)</sup>、測定車両を導入する場合には一定のコストが発生する。

また、列車動揺測定が定期的実施されている<sup>4)</sup>が、急進等の予兆を把握するには十分な頻度とは言えない。予兆も含めた保守管理のニーズは高く、このためには高頻度な動揺データの取得が必要となる。動揺測定にあたっては、可搬型の加速度計を持ち込み車内床上に設置して測定する方法や、軌道検測車や営業車両に常時設置された加速度センサーを用いて測定する方法などがある。しかしながら、前者は装置運搬や記録

のために複数人の工務系社員の添乗が必要となることもあり、一方で後者は添乗が不要であるものの車両への装置の機装が必要となり、いずれも現状は容易に高頻度測定ができるものではない。

そこでこれらの課題に対して、①1人で誰でも測定ができること、②動揺測定以外の点検項目も併せて実施できること（多能工化）、③導入にあたって大掛かりな設備投資が不要であること、という3点をコンセプトとして、日常に溶け込んでいる身近なセンシングデバイスであるスマートフォンを活用した安価で必要最低限の機能を備えたスマート動揺判定アプリを開発した。

## 3. システム構成

スマート動揺判定アプリは、スマートフォン用アプリ、解析サーバ、WEBアプリの3つの機能で構成されており（図-1）、次項から順に紹介する。

### (1) スマートフォン用アプリ（データ取得）

列車巡視では主に体感による動揺確認、前頭からの線路設備や周辺環境の目視確認を行っている。これら

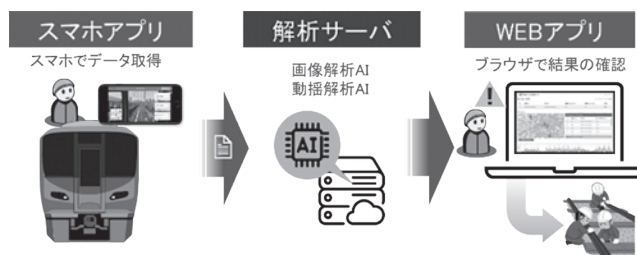


図-1 スマート動揺判定アプリのシステム構成

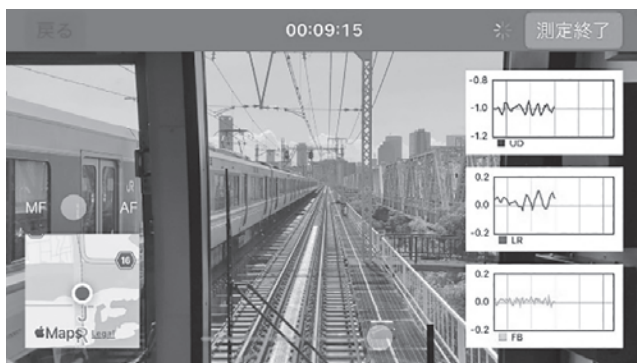
の要件を満たすためにスマートフォンに搭載されている加速度センサー、GPSセンサー、カメラ映像のデータを使用する。取得したデータはスマートフォンの通信回線を通じてサーバへアップロードされる。解析の役割をサーバが担うことで、スマホアプリでは連続したデータ取得、レスポンスの早いアプリ動作を実現する。

測定の際は、予め設定しておいた測定区間情報の中から今回の測定に合致した条件を選択する。測定画面に遷移後、測定開始から終了、サーバへのデータアップロードまでを途切れず一連の動作フローで行える設計としており、ユーザの動作は5回のタッチ操作のみである。なお、測定終了後に全データをアップロードするが、測定中も数秒間隔で加速度およびGPSセンサーのデータをサーバにアップロードすることもできる。このデータを解析することで準リアルタイムに著大動揺箇所を抽出し、メールで知らせることも可能である。

その他、測定中のカメラの焦点を自動で調整するオートフォーカスモードと、焦点を固定するマニュアルフォーカスモードを搭載し、測定環境に合わせてより安定した撮影が可能になるように配慮している（写真—1）。これにより、例えば窓ガラスの汚れや水滴にフォーカスされ、線路設備や周辺環境の映像が不鮮明となる事態を回避できる。

(2) 解析サーバ (データ処理)

スマートフォン用アプリから解析サーバにアップロードされたデータは、サーバ内の解析ソフトで処理する。解析は上下、左右、前後の3軸方向の動揺解析、カメラ映像の画像解析、そしてそれぞれのデータへの位置情報および時刻情報の関連付けを行っている。GPSで取得した緯度・経度情報を事前に登録した線路情報を用いてマップマッチングを行う。GPS信号が得られないトンネル区間については位置推定処理(加速度データの積分により得られる速度変化の活用)



写真—1 測定中の画面

などの複数手法を組み合わせることで精度向上を図っている。

動揺値(3方向加速度値)はスマートフォンに内蔵された加速度センサーのデータを100Hzの時間サンプリングで収録し5HzのLPF(ローパスフィルター)処理を実施し、20Hzにリサンプリングする。上下、左右方向については列車動揺値として全振幅(ピークトゥピーク値)(図—2)を評価する。

前頭映像は1,080pHD/15fpsで取得したカメラ映像データに動揺値と位置情報および時刻情報を関連付け、また、物体検出により踏切および線路脇の作業員を検知した結果を表示する。

解析した結果は、任意のブラウザからWEBアプリにアクセスすることで閲覧可能となる。

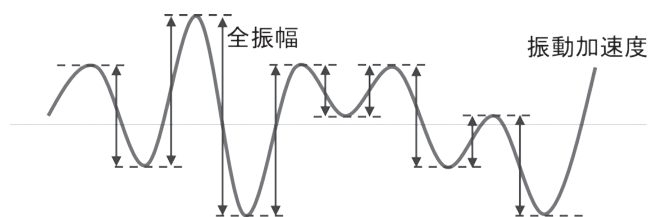
(3) WEB アプリ (結果表示)

解析サーバで処理したデータをWEBアプリにて表示する。表示される結果は、動揺値、前頭映像、測定区間の3つで構成されており、それぞれの表示内容は以下の通りである。

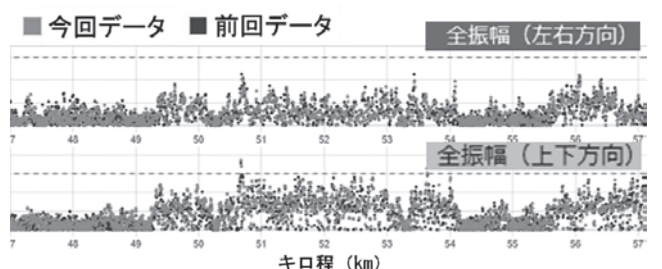
(a) 動揺値

動揺値は横軸にキロ程(km)、縦軸に大きさ( $m/s^2$ )を取ったグラフで表示する。また、全振幅値については、過去の評価結果と重ねて描画することができ(図—3)、視覚的に測定区間全域の動揺値の進行を確認することができる。加えて、測定区間中の任意の箇所の時間変動の描画機能を有しており(図—4)、ユーザが重点的に監視している局所の動揺値の進行も簡易に確認できる。

動揺値は解析前後のデータをcsv形式で出力することが可能で、ユーザが自由に加工、分析することがで



図—2 全振幅値の評価方法



図—3 動揺データの解析結果の描画

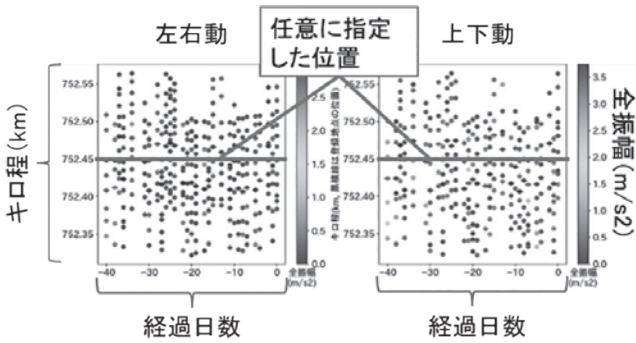


図-4 該当地点の時間変化を表示したグラフ



図-5 測定区間の可視化とピンのプロット

きる。

(b) 前頭映像

任意の動揺閾値を超過した箇所は、映像中に丸いマークを表示し（写真-2）、ユーザが映像確認中に動揺値の大きい箇所を簡易に把握できる。また、踏切および線路脇の作業員を物体検知した場合は物体を枠で囲い強調する（写真-3）。

(c) 測定区間

測定した区間を地図上に表示する。動揺値の解析結果で得られた任意の動揺閾値を超過した点は地図上にピンを立て、視覚的にどこで著大な動揺値が発生したかを分かるようにしている（図-5）。加えて、そのピンを選択することで前頭映像がその地点の数秒前から再生され、すぐに前頭映像の確認も可能になる。

このとき著大動揺箇所の位置合わせをキロ程により行くと、トンネル区間や沿線の遮蔽物によりGPS精度が低下する箇所では、正しい位置を特定することが難しくなる。本システムでは、映像測定と動揺測定を同じ機器で行っているため、加速度センサーで特定した動揺発生時刻とそれに対応する動画再生時刻を厳密に紐づけることができる。よって、動揺が起きた正確な地点情報を前頭映像から得ることができ、線路管理者であればそれがどこであるかを特定することは容易である。

4. 動揺値の比較検証

(1) 軌道検測車との動揺値の比較

スマート動揺判定アプリで取得した動揺値と、既存の動揺測定機器で取得された動揺値の関係性を確認するために、軌道検測車にスマート動揺判定アプリをインストールしたスマートフォン（以下、測定用スマートフォン）を設置し、同時に取得した動揺値の比較を行った。

軌道検測車の前頭車両のフロントガラス前の機器箱側面に、測定用スマートフォンを貼付して設置し、全長26.9 kmの間で取得した動揺値の比較を行った。なお、今回の比較においては、取得した動揺値の絶対値を100 m ロット間で平均し比較することとした（N=269）。比較に際しては、軌道検測車で取得した動揺値を基準データとして、スマート動揺判定アプリで取得した動揺値を比較データとした（図-6, 7）。

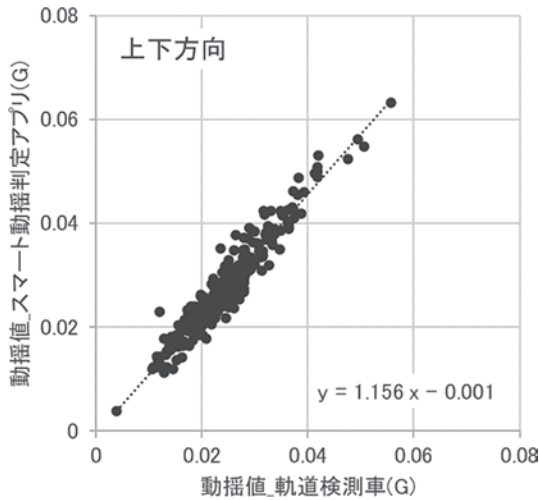
結果、「上下」「左右」ともに、近似線の傾きが「1」以上、切片が概ね「0」であることから、軌道検測車で取得された動揺値よりも、スマート動揺判定アプリで取得された動揺値の方が大きく出る傾向があることがわかった。これは、軌道検測車の加速度計が台車中心の床上に設置されているのに対し、測定用スマートフォンの設置位置が台車中心より2 m 程度前方で、加えて床から1 m 程度上部であることが要因である



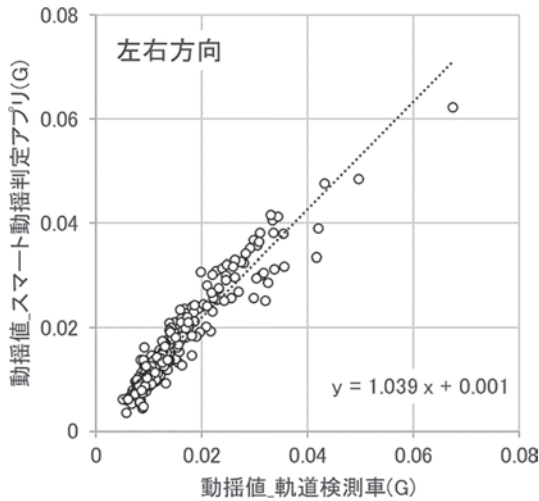
写真-2 動揺が閾値を超過した箇所のマーク表示



写真-3 物体検知の例 (踏切の場合)



図一六 上下方向の動揺値の比較



図一七 左右方向の動揺値の比較

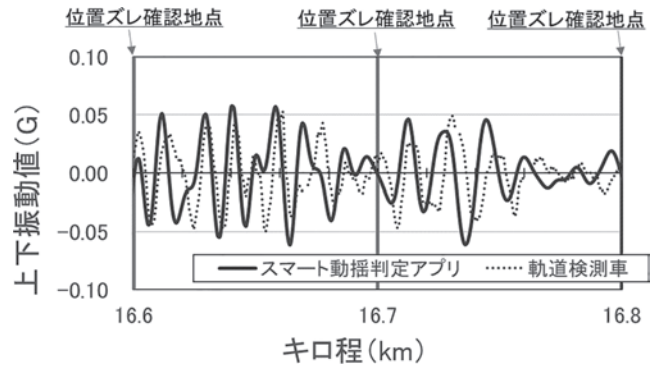
と考えられる。また、相関係数は上下、左右いずれの動揺値も 0.9 以上と強い正の相関関係にあり、軌道検測車で著大な動揺を検知した箇所ではスマート動揺判定アプリでも同様に検知可能と言える。

(2) 軌道検測車キロ程との位置ずれ

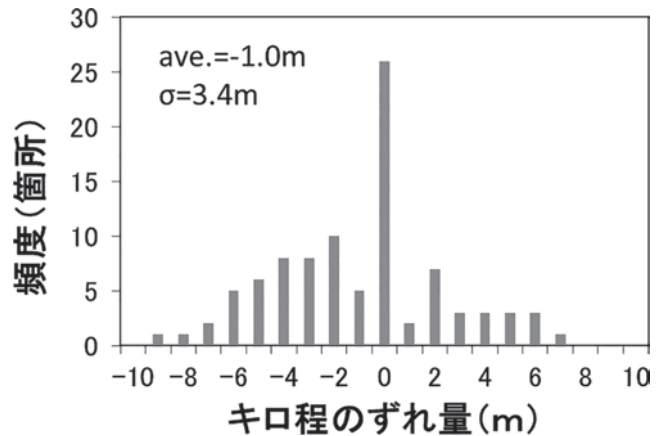
4章1項と同様のデータを使用し、軌道検測車で取得したデータを基準としてキロ程の位置ずれ量を確認した。

同区間を測定した軌道検測車で取得した動揺データとスマホ動揺判定アプリで取得した動揺データを可視化して波形を重ね合わせ（図一八）、100 m ごとにキロ程の位置ずれ量を確認した（区間延長=10 km, N=100）。

その結果、動揺波形に表れる波長帯域は軌道検測車とスマート動揺判定アプリで乖離はあるものの、形状は類似しており、キロ程の位置ずれを確認するには十分なデータであることがわかる。そして、100 m ごと



図一八 動揺波形の可視化例



図一九 位置ずれ量の頻度分布

の位置ずれ量の頻度分布から（図一九）、キロ程の位置ずれ量は平均で -1.0 m、標準偏差で 3.4 m であることが確認できた。なお、スマート動揺判定アプリで同区間を複数回測定した場合のキロ程の位置ずれは平均で 0.4 m、標準偏差で 2.1 m であることを確認している。

以上のことから、スマート動揺判定アプリの確認後に、現地確認をする際は、軌道検測車で取得したキロ程と数 m 程度の乖離があることに注意をする必要がある。これについては同時に取得している前頭映像を加味して位置の特定ができることから、運用上は十分許容可能な誤差と考えている。

5. 列車巡視への適用

前章ではスマート動揺判定アプリを軌道検測車と比較し、機能として十分であることを確認した。この章では、スマート動揺判定アプリの列車巡視への適用可否を確認するために、列車巡視に求める要件を整理し（表一）、各項目に対して評価した。

(1) 動揺測定機能としての評価

動揺測定機能の評価は、従来の方法で工務系社員が

表一 列車巡視に求める要件

No.	列車巡視に求める要件	
	概要	詳細（確認すべき線路状態）
1	線路の全般的な巡視	列車動揺
2		軌道狂い
3		工事施工箇所確認
4		噴泥・バラスト不足
5		まくらぎ直角狂い
6	環境変化の把握	倒竹・倒木の把握
7		落石・崩壊の確認
8		草の繁茂
9		要注意箇所の変状進行
10	保安監視	近接工事（無断作業危険作業）の発見
11		用地侵害、違法放棄、線路柵等の損壊の発見
12		運転支所に至る不審物・置き石等の発見
13		踏切看板の破損の発見

列車巡視を行い確認した動揺体感箇所について、スマート動揺判定アプリで測定された動揺値を確認した。従来の方法で確認された動揺体感箇所は道床白石化・噴泥箇所において上下動揺3箇所、その他左右動揺2箇所であり、当該箇所についてスマート動揺判定アプリでも著大な数値の出力を確認した。その他、測定区間の全線において、スマート動揺判定アプリで測定した全振幅値を確認したところ、従来方法で確認された動揺体感箇所の最小動揺値を超える箇所は、上下動揺で14箇所、左右動揺で2箇所存在することが確認された。以上の結果から、軌道検測車と同等の性能を有するスマート動揺判定アプリを日常的に活用することで動揺をより正確に、定量的に把握することができ、加えて、人が判定することによる結果のバラつきの低減が期待できる。また、同一箇所でも複数回の測定データがあれば、図一4に示した機能を用いることで、動揺の変化をより正確に把握することが可能となる。以上のことから、列車巡視に求める要件のNo.1～3について、スマート動揺判定アプリは従来方法以上の精度で確認ができ、適用性があると言える。

(2) 前頭映像機能としての評価

スマート動揺判定アプリの適用を想定している列車巡視において、求める要件のNo.1～3についてはスマート動揺判定アプリの「動揺測定機能」で適用可能と考えられるため、残るNo.4～13について「前頭映像機能」で要件を満たすことができるかを確認した。

事務所内のPC端末で取得した前頭映像を測定区間の全線にわたり目視で確認して模擬的な列車巡視を行い、No.4～13への適用可否を確認した。その結果、スマート動揺判定アプリにより取得された前頭映像を確認することで、「確認すべき線路の状態」（噴泥や草



写真一4 噴泥・バラスト不足の例



写真一5 倒竹・倒木の把握の例



写真一6 近接工事の発見例

繁茂等)を、従来の方法と同等の精度で確認できることがわかった(例えば写真一4～6)。

次に、従来の方法と、上記スマート動揺判定アプリの前頭映像を確認して行った模擬的な列車巡視で、それぞれ発見した不良の結果を整理した(表一2)。従来の方法で発見した不良は4箇所であり、前頭映像を確認して発見した不良は従来の方法で発見した箇所を含めて7箇所であった。前頭映像を用いた列車巡視は従来の方法で発見した箇所を網羅しており、加えて、従来の方法では見つけられなかった不良を3箇所見つけることができた。これには映像確認により、一時停止・巻き戻しができることが寄与しており、スマート動揺判定アプリの利点が生かされ、判定漏れが改善さ

表一 2 それぞれの列車巡視方法で発見した不良

箇所	発見した線路の不良	
	従来の方法	スマート動揺判定アプリの動画データ確認
A	管理室境界の標識の不良	管理室境界の標識の不良
B	白石化	白石化
C	噴泥	噴泥
D	-	白石化
E	噴泥	噴泥
F	-	噴泥
G	-	噴泥

れたと言える。

以上、列車巡視に求める要件として示した No.1 ~ 13 の全ての要件をスマート動揺判定アプリで満たすことができることが確認できた。よって、スマート動揺判定アプリは列車巡視への適用可能性を有していると言える。

## 6. おわりに

本稿では当社が開発したスマート動揺判定アプリの機能と列車巡視への適用の可能性について紹介した。スマート動揺判定アプリは列車巡視に求める要件を満たすことが確認できたことから、例えば運転士が測定用スマートフォンを持参して測定することで、工務系社員が列車に添乗せず事務所にてスマート動揺判定アプリの測定結果を確認する、といったことも考えられる。

今後もスマート動揺判定アプリをより良いものに発展させ、持続可能な鉄道事業に寄与していきたい。

J|C|M|A

### 《参考文献》

- 1) 池内三津喜, 田中浩平: データアナリティクススマートフォンを活用した線路保守システムの開発, サイバネティクス, Vol.28, No.1, 2023.
- 2) 昆野修平, 川崎恭平, 三島健吾, 三和雅史, 清水惇, 中島昇: 列車巡視支援のための線路周辺画像解析エンジンの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.3, pp.5-10, 2022.
- 3) 猿木雄三: 列車巡視支援システムの導入, サイバネティクス, Vol.26, No.2, pp.26-30, 2021.
- 4) 財団法人鉄道総研技術研究所, 鉄道構造物等維持管理標準 (軌道編) の手引き, pp.289-299, 2007.

### 【筆者紹介】



村上 真 (むらかみ まこと)  
西日本旅客鉄道株  
デジタルソリューション本部  
データアナリティクス



田中 浩平 (たなか こうへい)  
西日本旅客鉄道株  
デジタルソリューション本部  
データアナリティクス



横川 雅成 (よこがわ まさなり)  
西日本旅客鉄道株  
鉄道本部 施設部 施設技術室