

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04368

研究課題名（和文）スマートフォンを活用した地方鉄道の高安全度化

研究課題名（英文）Safety development of regional railway using smart phone

研究代表者

綱島 均 (TSUNASHIMA, Hitoshi)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：30287594

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：営業車両を利用した軌道の状態監視において、センサ及び通信機能を内蔵したスマートフォンの活用が有効であると考えられる。本研究では、GPS搬送波のドップラ効果による速度に着目し、この速度情報を移動距離に換算し、列車の位置同定を実施できる信号処理方法を考案した。また、スマートフォンを使用して、3軸振動加速度および各軸周りの角速度を利用した軌道状態診断を実施した。スマートフォンを用いた列車接近警報システムの開発については、山形鉄道において実証実験を行った。これらの結果からスマートフォンを用いて、軌道状態診断や列車接近警報システムを実用化できる見通しを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地方鉄道では、施設の経年劣化が著しい一方で、費用の確保や技術力の維持が難しく、十分な検査が行えない事業者も少なくない。このような問題を解決するためには、地方鉄道の営業車両の走行データを一括収集・管理し、軌道の状態を診断・予測するセンターが有効であると考えられる。これにより、多くの地方鉄道事業者における軌道保守に関する問題を解決できるものと考えられる。また、地方鉄道では、遮断機も警報器もない第4種踏切が多くあり、低コストで安全性を向上させるシステムの導入が必要である。本研究成果は、これらの問題を解決するために活用できる。

研究成果の概要（英文）：The use of smartphones with built-in sensors and communication functions is considered to be effective in monitoring track conditions using in-service trains. In this study, we focused on the velocity due to the Doppler effect of the GPS carrier wave, converted this velocity information into distance travelled, and devised a signal processing method that can perform train position identification. In addition, smartphones were used to diagnose track conditions using acceleration and angular velocity. The development of a smartphone-based train approach warning system was tested on the Yamagata railway. The results of these tests show that it is possible to develop a practical track condition diagnosis and train approaching warning system using smartphones.

研究分野：機械工学

キーワード：鉄道 安全性 状態監視 軌道 踏切 状態基準保全 スマートフォン

### 1. 研究開始当初の背景

地方鉄道では、施設の経年劣化が著しい一方で、費用の確保や技術力の維持が難しく、十分な検査が行えない事業者も少なくない。このような問題を解決するためには、地方鉄道の営業車両の走行データを一括収集・管理し、軌道の状態を診断・予測するセンターが有効であると考えられる。これにより、多くの地方鉄道事業者における軌道保守に関する問題を解決できるものと考えられる。また、鉄道事故の3割を踏切事故が占めており、遮断機のない踏切（第3種、第4種踏切）も未だ約1割が残る。踏切事故は、1日1件、4日に1人死亡するペースで発生しており、踏切事故の7割が歩行者、そのうちの4割が高齢者というデータが公表されている。地方鉄道では、遮断機も警報器もない第4種踏切が多くあり、踏切の安全対策が喫緊の課題となっている。特に地方鉄道への適用を考慮した場合、低コストシステムの実現が必須である。

### 2. 研究の目的

申請者は日本大学生産工学部鉄道工学リサーチ・センターにデータセンターを開設し、専用の車体動揺計測装置と軌道状態診断システムを使用して軌道の状態の常時モニタリングするシステムを開発し、山形鉄道、銚子電鉄で実証実験を実施してきた。一方、本システムは車体の動揺計測に専用の装置を使用することから、多くの地方鉄道に導入するにはコスト面などで課題がある。これに対し、汎用のスマートフォンを使用して車体動揺を計測し、診断できるシステムが実現できれば大幅なコストダウンが可能であり、多くの地方鉄道事業者が容易に導入できる可能性がある。また、データセンターでは鉄道の運行データ（位置、速度）をリアルタイムで収集しており、この情報を用いることにより、第4種踏切に接近するスマートフォンを携帯している歩行者や車両に対して、警報を発出することが可能になる。

### 3. 研究の方法

本研究における全体構成図 1 に示す。スマートフォンに搭載されている3軸加速度センサにより車体動揺、3軸ジャイロセンサにより角加速度、GNSSセンサにより位置情報や走行速度が測定され、それらのデータは4G回線によりサーバに伝送される。伝送されたデータを解析する事により軌道状態を診断、鉄道事業者はその結果に基づき軌道のメンテナンスの優先順位を決めて作業が可能となる。また、列車位置情報にもとづいて、踏切横断者に対して、スマートフォンに伝送した情報から接近警報を与えることができる。



図1 全体構成図

本研究では、地方鉄道の安全性を向上させるため、スマートフォンの技術を活用して、1) 予防保全による軌道の高安全度化、2) 踏切の高安全度化、を達成するための技術開発を実施する。

### 4. 研究成果

#### (1) 車体動揺の計測

計測機器として業務用 IoT デバイス BL-02（以下、B 装置と記載）と市販向けスマートフォン GalaxyS7-edge（以下、G 装置と記載）を選定した。両機器とも3軸加速度センサ及び3軸ジャイロセンサ、位置情報や走行速度を計測する GPS センサ、データの送受信に必要な 4G インター

ネット回線が搭載されている。計測時、B 装置は 232Hz、G 装置は 417Hz で計測され、解析処理でかかる負荷を低減させるためサーバーから取得時には 80Hz にダウンサンプリングされる。これらを利用することにより車体動揺を計測、診断する事が可能となる。スマートフォンの設置場所は利便性及び GNSS の受信環境に考慮し、運転台近くに設置した

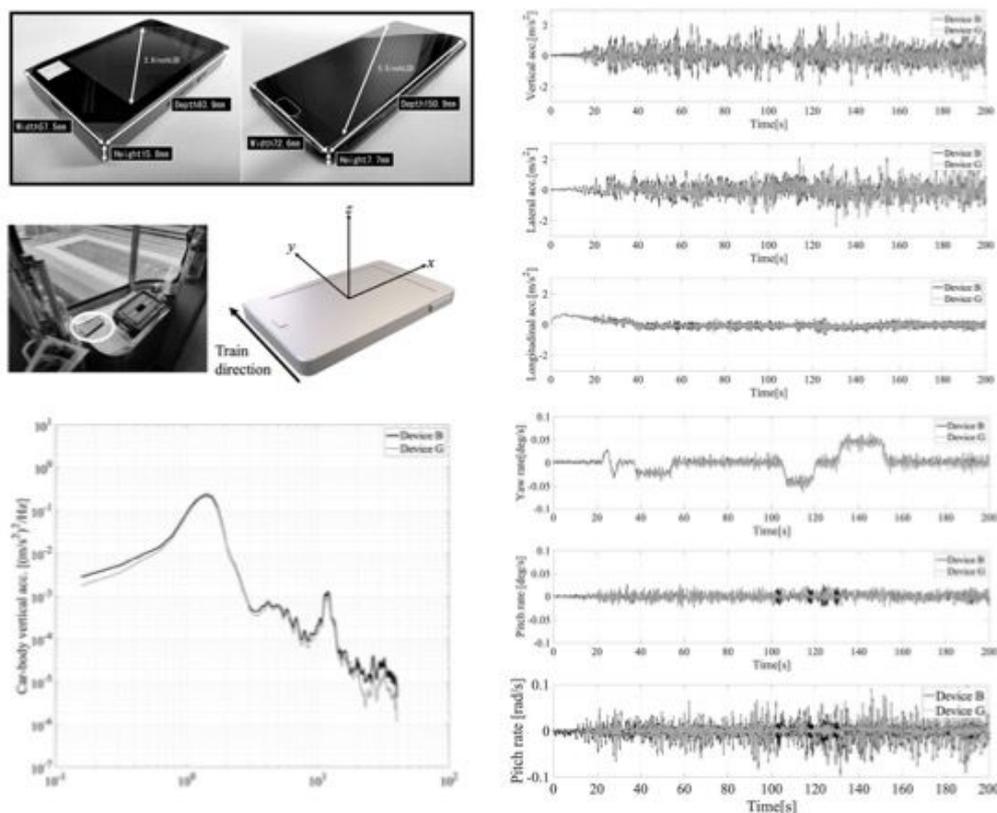


図2 計測装置及び測定結果

## (2) 振動・角速度データの検証

図2は、地方鉄道Aにおいて2021年12月に、B装置及びG装置を実車に搭載し、同時計測したものである。両装置で計測されたデータは位相、振幅がほぼ一致している事がわかる。また、同時測定した車両の上下振動加速度のパワスペクトル密度を求めた。両装置とも周波数特性が一致しており、車体動揺計測装置として十分な精度を有していることが確認できた。

## (3) GNSS速度の検証

軌道管理を行うために列車位置の同定が重要になる。本システムにおいてはGNSS速度からキロ程を算出するためGNSS速度の検証を行なった。結果を図3上左図に示す。これは対応している衛星測位システムの数に影響していると考えられる。B装置は対応している衛星測位システムが少なく、さらにA-GPSにも対応していない。そのため衛星受信数が異なり、マルチパスの影響を受けやすいと考えられる。

マルチパスの影響を受けたGNSS速度に対し、メディアンフィルタを用いた補正処理を検討した。B装置で計測されたGNSS速度に対し、マルチパスの影響の大きさを考慮し、前後5秒間窓サイズ800データにてメディアンフィルタ処理を行なった結果、図3上右図に示すようにマルチパスによる急激な速度の低下が改善されることがわかった。また、メディアンフィルタ処理が位置同定精度に与える影響を評価するため、GNSS速度を積分して求めた車両位置と車体上下振動加速度の関係を図3下図に示す。図より、マルチパスの影響を特に受けている450mから550mの区間においては、位置誤差が大きく改善されていることがわかる。

## (4) 実路線における軌道診断への適用

計測されたデータより、詳細な軌道異常の位置と種類を特定、評価するために時間周波数解析を行なった。列車は異常が発生している軌道上を走行すると、軌道異常の種類に対応した特徴的な振動が発生することが知られている。そこで、時間周波数平面を用いて分析することにより、軌道の異常種別と発生位置を特定できる可能性がある。分析に使用したデータは、地方鉄道Bにおいて2022年の6月と同年10月にG装置で計測されたデータである。

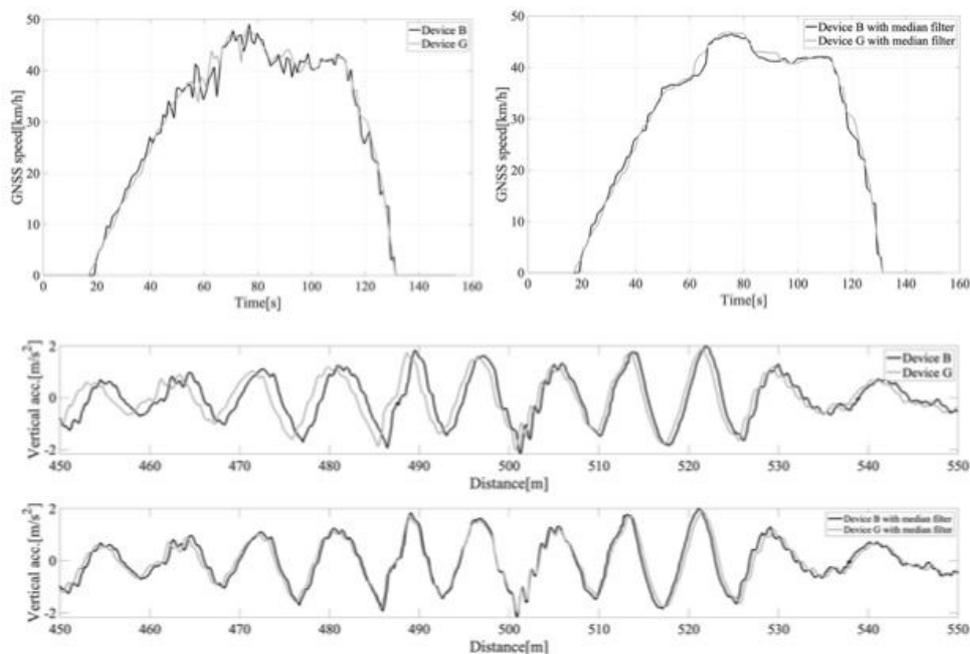


図3 位置補正アルゴリズムの検証

図4は2022年6月の計測データ(左)と同年10月の計測データ(右)を時間周波数解析である連続ウェーブレット変換(CWT)及びヒルベルト・ファン変換(HHT)を行なったものである。2022年6月に600m-700m区間で1-2Hzにおいて高低不整による振動が検出されていたが、同年10月には検出されなくなっている。区間600mから700mでは、保線作業が行われ、新たにバラストが補充され、突き固めを行った結果、高低不整が低減された事が、現地調査から確認できた。このように、スマートフォンで計測されたデータを用いて、時間周波数解析を行うことにより、軌道異常の種類、位置を特定でき、軌道整備の効果の確認も行えることが確認された。

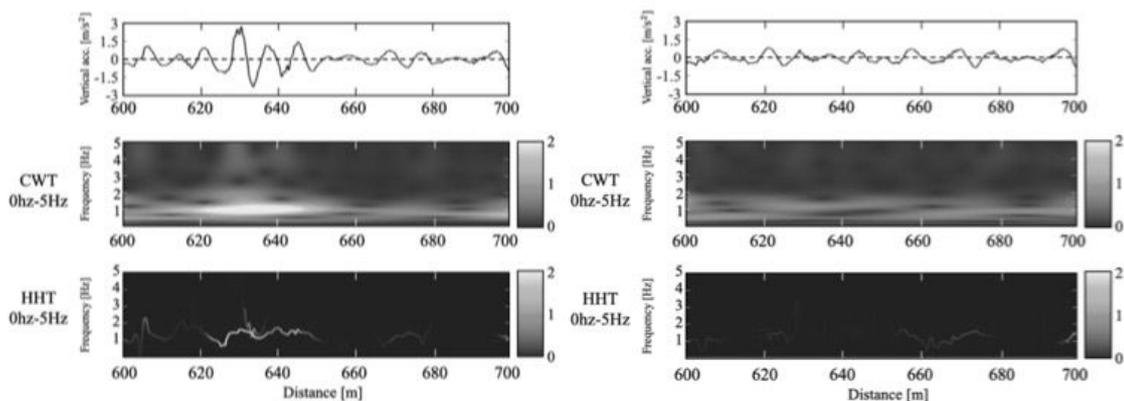


図4 実路線における軌道診断への適用

実車において、スマートフォンを用いた車体動揺測定を行い、実際に軌道状態を診断できるか検証を行った。その結果、業務用IoTデバイス、市販のスマートフォンの両方で軌道状態を監視、診断できることを明らかにした。

#### (5) スマートフォンを用いた踏切接近警報システムの開発と検証

スマートフォンを用いた列車接近警報システムの開発については、プロトタイプシステムの開発を完了し、山形鉄道において実証実験を行った。その結果、列車の接近を検知し、警報を発生できることを確認した。一方、警報を発生するタイミングについては、今後検討を継続し受容性のある最適なタイミングを見出す必要があることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tsunashima Hitoshi、Ono Hironori、Takata Tetsuya、Ogata Seigo	4. 巻 13
2. 論文標題 Development and Operation of Track Condition Monitoring System Using In-Service Train	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3835 ~ 3835
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app13063835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 ONO Hironori、TSUNASHIMA Hitoshi、TAKATA Tetsuya、OGATA Seigo	4. 巻 1
2. 論文標題 Development and operation of a system for diagnosing the condition of regional railways tracks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/mej.22-00239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 本田 隆, 網島 均
2. 発表標題 スマートフォンを用いた軌道状態監視システムの開発
3. 学会等名 第29回鉄道技術連合シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寛典, 網島 均, 高田哲也, 緒方正剛
2. 発表標題 地方鉄道を対象とした軌道状態診断システムの開発と運用
3. 学会等名 第29回鉄道技術連合シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 網島 均
2. 発表標題 営業車両を用いた軌道状態監視システムの構築
3. 学会等名 レール・車輪接触力学研究会(JSCM)総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 網島 均
2. 発表標題 未来につなげる地方鉄道 地方鉄道の安全性とこれからの運営を考える 研究プロジェクトの全体像および軌道状態診断システムの開発と運用
3. 学会等名 日本大学生産工学部鉄道工学リサーチ・センター シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitoshi TSUNASHIMA
2. 発表標題 Condition Monitoring of Track from In-Service Vehicles for Regional Railways
3. 学会等名 1st Workshop on Advanced Railway Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠田 憲幸, 佐藤 安弘, 緒方 正剛, 網島 均, 松本 陽
2. 発表標題 列車動揺検査におけるGPS速度の補正方法について
3. 学会等名 日本機械学会関東支部 第27期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 網島均, 松本陽, 朝山 翔太
2. 発表標題 列車動揺検査におけるGPS速度 を用いた位置同定手法の提案
3. 学会等名 第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 網島均, 松本陽
2. 発表標題 小型汎用情報端末を活用した列 車動揺検査手法の開発
3. 学会等名 第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 森 裕貴, 網島 均, 松本 陽
2. 発表標題 小型情報端末を活用した地方鉄道における軌道管理手法の構築
3. 学会等名 第24回鉄道工学シンポジウム論文集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------