

# 地方鉄道を対象とした軌道状態の 省力化監視手法に関する取組

交通システム研究部 上席研究員 緒方 正剛

## 講演内容

1. はじめに
2. 従来の軌道管理の方法
3. 列車動揺検査の課題
4. 検討中の軌道管理手法
5. まとめ

# 1. はじめに

- 地方鉄道では、厳しい経営環境の中で安全な鉄道輸送の確保が求められており、新技術の導入・活用などによる維持管理コストの低減が課題
- 軌道状態の省力化監視手法として、小型情報端末を車両動揺の測定に活用した新たな手法を検討
- 従来の軌道管理の方法と課題、検討中の新たな手法について述べる

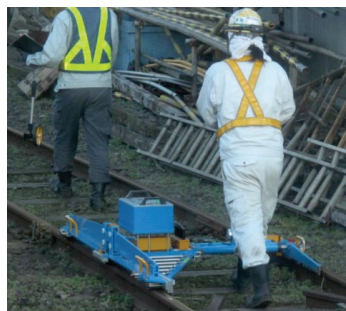
低コストでの輸送の安全確保を前提とする  
地方鉄道の維持に貢献するための取組

## 2. 従来の軌道管理の方法 (軌道検測)

軌道検測車または簡易軌道検測装置を使って測定



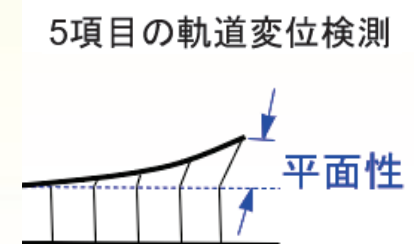
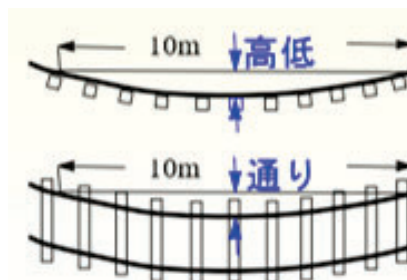
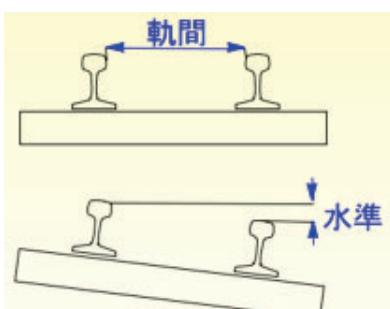
軌道検測車



簡易軌道検測装置

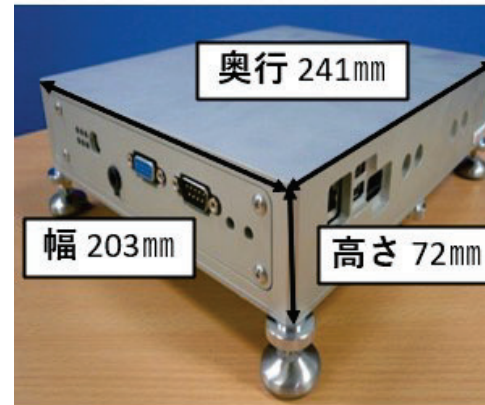


手検測



## 2. 従来の軌道管理の方法 (列車動揺検査)

車両床上のセンターピンに振動計を設置し、列車走行中の上下振動と左右振動を測定。振動の過大箇所を抽出して、補修箇所を特定。



従来の測定装置の例

## 2. 従来の軌道管理の方法 (管理方法の比較)

	価格	測定速度	測定頻度	測定項目	備考
軌道検測車	高	営業列車速度	年1回	軌道狂い5項目	大手事業者が採用
簡易軌道検測装置	中	徒歩程度	年1回	軌道狂い5項目	主に地方鉄道事業者が採用
列車動揺検査	低	営業列車速度	年2回~4回	列車の上下動・左右動	軌道狂い5項目の原因による列車動揺

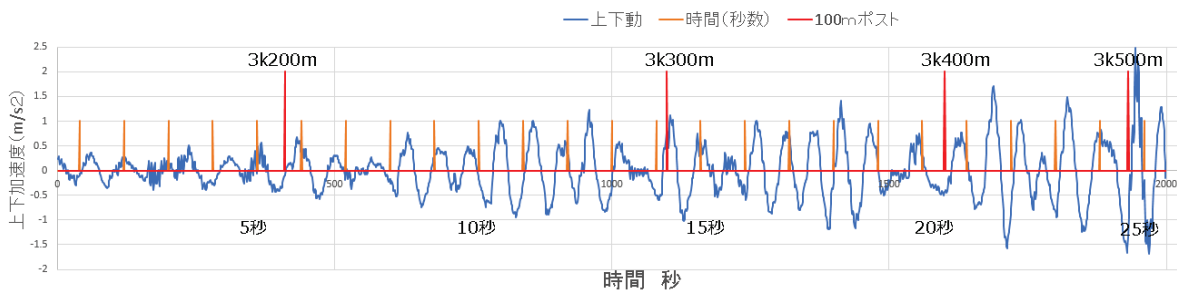
非常に高価な  
軌道検測車

手押しによる測定のため  
1日に10km程度しか  
測定できない簡易軌道検測

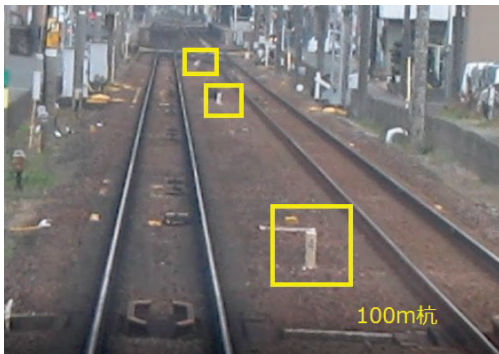
列車動揺検査に必要な加速度  
センサなどの機材の低価格化  
・小型軽量化

列車動揺検査の方法を応用して地方鉄道の軌道管理手法の構築を進めている。

### 3. 列車動揺検査の課題（現状の測定方法）



従来の列車動揺検査のチャート例



運転台の係員が100mポストの位置でマーカを手押し入力

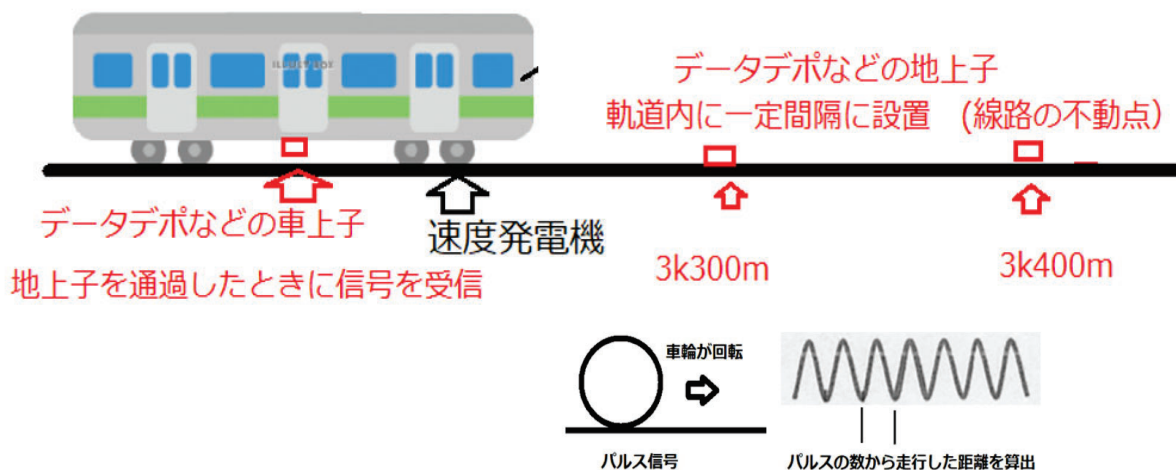
測定の基準が時間軸になっているが、検査結果は距離軸で出力したい。

現状の地点入力方法

1. 手入力のマーカ
2. 地上子と車輪の回転パルス
3. 衛星測位

### 3. 列車動揺検査の課題（現状の測定方法）

検査結果を距離軸で出力する方法（速度発電機）



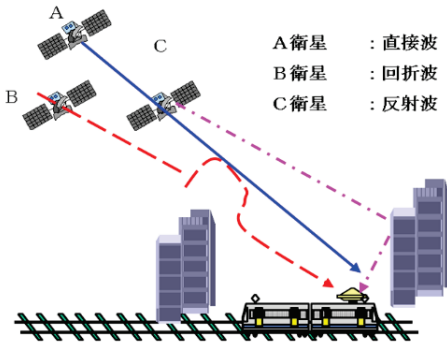
- 車輪の回転パルス（運転保安装置用速度センサ）から距離を拾う
- 安全面から運転保安装置を改造することができないので既存の速度発電機の利用は困難
  - 車輪径による誤差が発生

### 3. 列車動揺検査の課題（現状の測定方法）

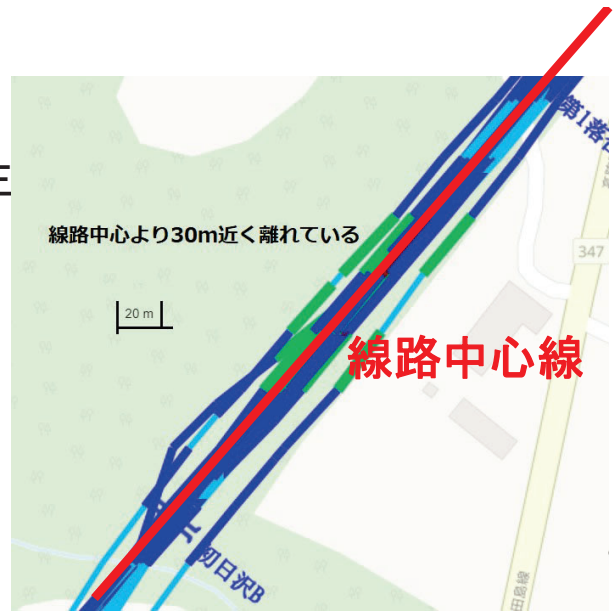
検査結果を距離軸で出力する方法（衛星測位の利用）

#### 課題

トンネルで測定できない  
マルチパスによる誤差の発生



マルチパスの種類



緯度経度情報による  
車両の軌跡図 → 精度に問題

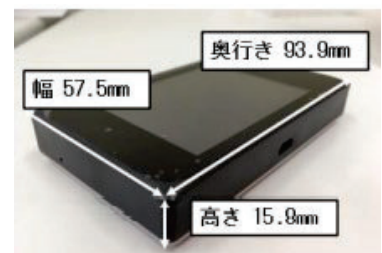
### 4. 検討中の軌道管理手法（コンセプト）

#### コンセプト

- 振動センサを内蔵した小型情報端末を利用する
- データ取得を、オンラインで可能とする
- 高頻度測定により、異常の早期発見を可能とする
- GPSの搬送波のドップラー効果を利用して、時間軸のデータを距離軸にて取得する
- 内蔵のジャイロセンサによって曲線の開始点・終点を検出し位置同定の精度を上げる

#### 小型情報端末の要求仕様

- 3軸加速度・3軸角速度が測定できること  
上下動・左右動以外に角速度から軌道状態を確認
- 衛星測位が利用できること  
緯度経度情報以外にGPS速度が測定できること
- サンプルング周波数は50Hz以上のこと
- バンドパスフィルター使用（0.3Hz～10Hz）



使用した小型情報端末  
W58 × D94 × H16mm  
500g

## 4. 検討中の軌道管理手法（GPS速度の利用）

### 動揺データを距離軸で出力する方法

GPSの搬送波のドップラ効果により計測される「GPS速度」を用いる。

このGPS速度を積分した累積距離を距離軸として、動揺波形を出力する。

衛星と受信機を搭載した列車が「接近・離反」することによる周波数の変化分から速度を算出

単独測位による測定

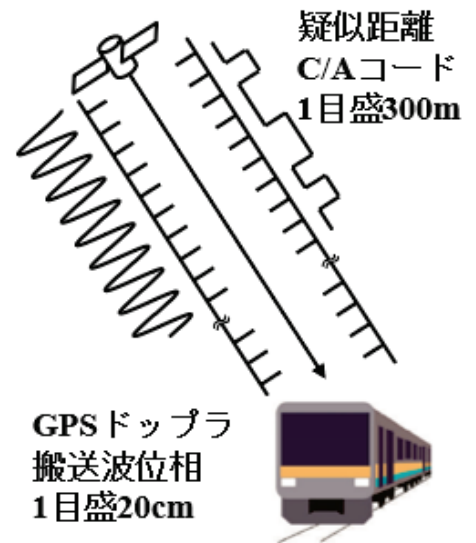
疑似距離 C/Aコード 1目盛300m



今回採用 GPSドップラ

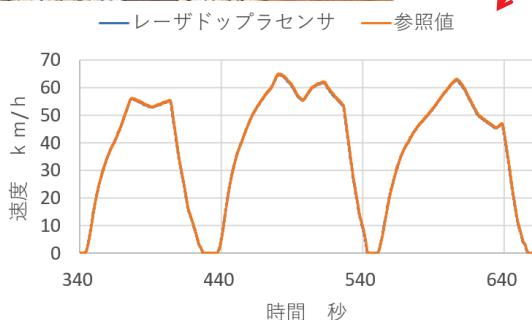
搬送波位相 1目盛20cm

$$\text{移動距離 [m]} = \text{GPS速度 [m/s]} \times 1 / \text{サンプリング周波数 [s]}$$



## 4. 検討中の軌道管理手法（GPS速度の検証方法）

測定精度±0.2%以内、再現性±0.1%以内の精度で測定できる、レーザドップラ速度計で検証



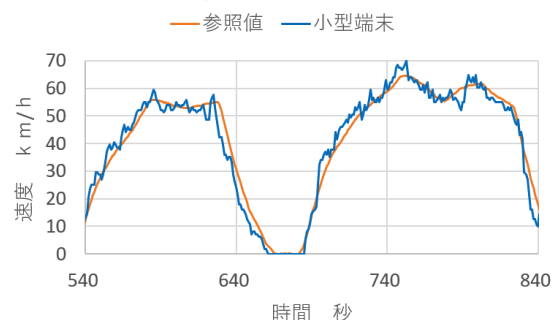
B鉄道事業者で実施

レーザドップラセンサ

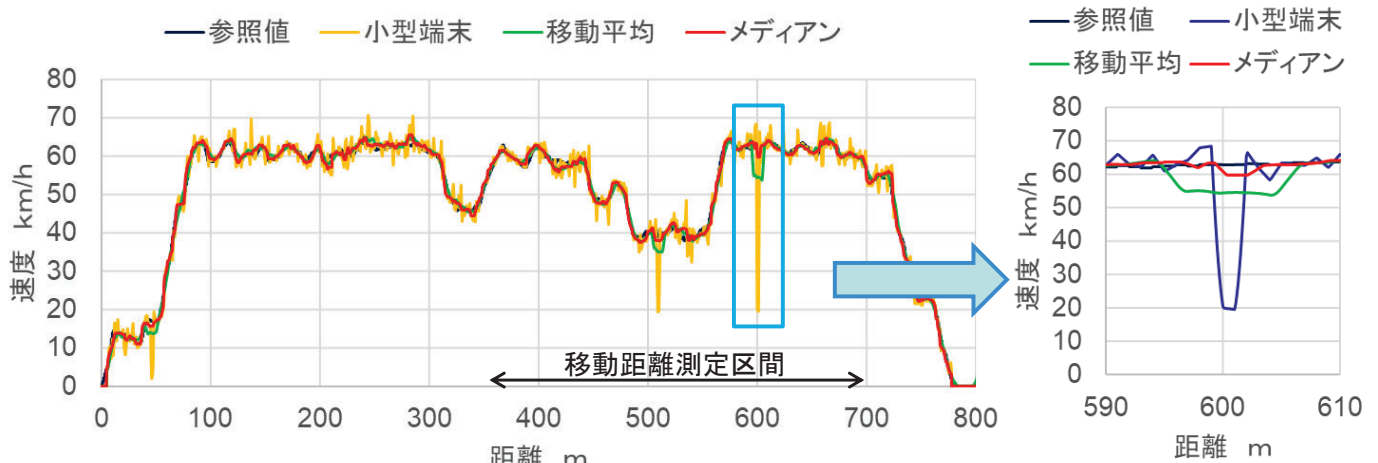
(参照値) 慣性計測装置  
(GPSアンテナを屋根に設置)

A鉄道事業者で実施

小型端末(GPS内蔵、  
アンテナは車室内)



## 4. 検討中の軌道管理手法（速度補正方法）



小型端末によって速度が低く測定され移動距離が短くなった箇所

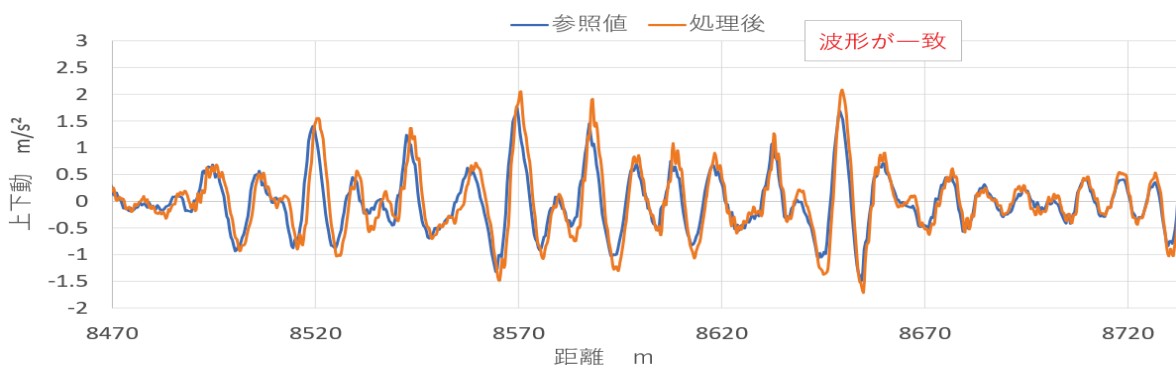
移動距離の測定値比較

	移動距離	参照値との差
参照値	347.31m	—
小型端末	325.74m	-21.57
移動平均	325.53m	-21.78
メディアンフィルター	346.37m	-0.94

- 小型端末：距離補正前
- 移動平均：前後10秒の値を平均したもの
- メディアンフィルター処理：データを小さい順に並べたときの中央の値（前後10秒間の値の中央値）

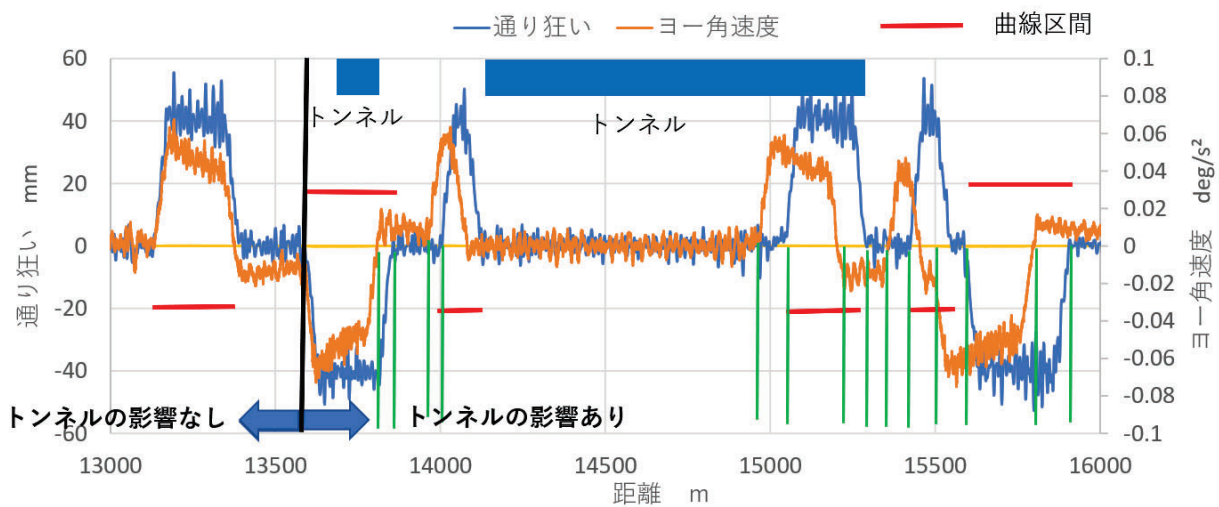
## 4. 検討中の軌道管理手法（速度補正結果）

メディアンフィルター処理による波形の位置同定結果



## 4. 検討中の軌道管理手法（位置同定精度向上方法）

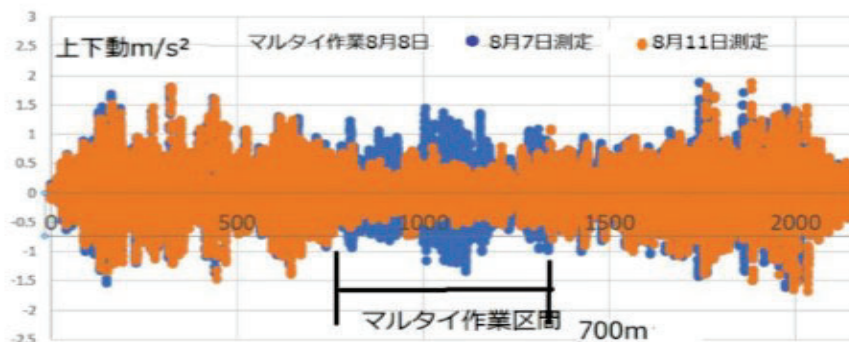
ヨー角速度による位置補正



- 軌道検測車による通り狂い(青線)は曲線区間と対応
- 小型端末(橙色の線)は、トンネル区間でGPS速度が正しく測定できなかったため、位置ずれが発生
- 小型端末で測定したヨー角速度は、曲線区間に対応するため、曲線の開始点・終点を検出して位置補正が可能

## 4. 検討中の軌道管理手法（作業効果の把握方法）

補修作業と動揺波形の関係性の把握



青色: 作業前  
橙色: 作業後

マルタイ作業の前後の波形

### マルタイ作業

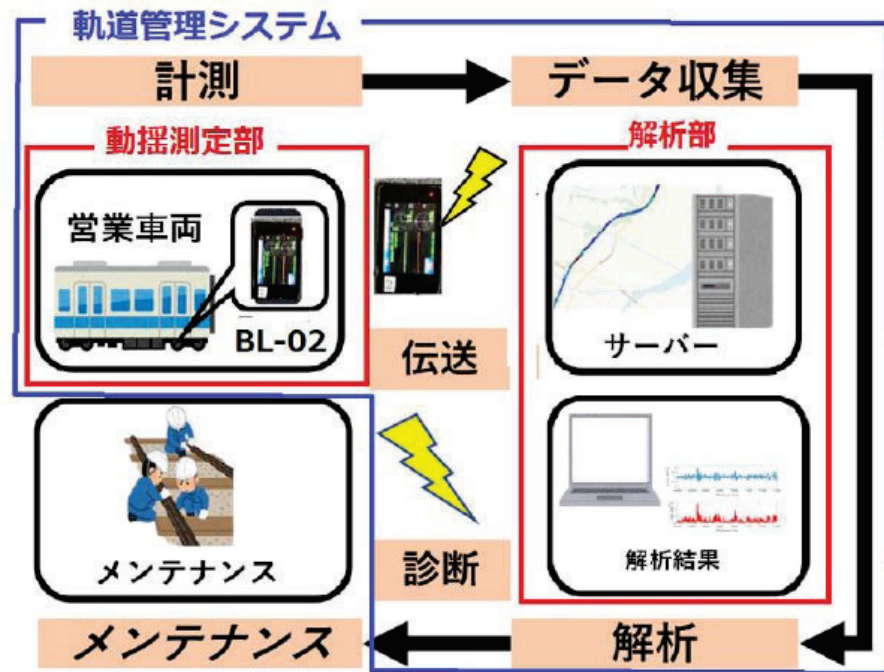
鉄の棒を碎石に差し込んで振動により締固め、軌道を良好な状態にする作業





## 4. 検討中の軌道管理手法（課題と今後の検討）

### 軌道管理システム



- ▶ 列車動揺データと軌道検測車による軌道検測データとの関係性の把握を進め、軌道状態の省力化監視手法の確立を図る。

## 4. 検討中の軌道管理手法（メリット）

	価格	測定速度	測定頻度	測定項目	備考
軌道検測車	高	営業列車速度	年1回	軌道狂い5項目	大手事業者が採用
簡易軌道検測装置	中	徒歩程度	年1回	軌道狂い5項目	主に地方鉄道事業者が採用
列車動揺検査	低	営業列車速度	年2回～4回	列車の上下動・左右動	軌道狂い5項目の原因による列車動揺



	価格	測定速度	測定頻度	測定項目	備考
小型情報端末による軌道管理手法	最低	営業列車速度	毎日	上下動・左右動	

### 地方鉄道で導入可能なシステム

1. 保安度の向上 高頻度な測定による軌道状態の把握  
急峻に劣化する軌道狂いの検出
2. 管理費用の低減 省力化による測定費用の低減
3. 導入コストの低減 小型情報端末を活用し導入コストの低減

## 5. まとめ

- **地方鉄道において軌道管理の省力化**を実現するため、小型情報端末を列車動揺の測定に活用した新たな手法を検討し、コンセプトと要求仕様を提案
- **線路方向の位置情報を把握**するため、GPS速度情報を積分して位置情報を得る手法について検証し、速度データのフィルター処理による補正が有効であることを確認
- **軌道状態と列車動揺との関係性**を定量的に把握し、軌道の補修作業が行われた区間では動揺が低減したことなどを確認
- **軌道状態の省力化監視手法の確立に向け**、動揺データと軌道検測データとの関係性の把握を進め、地方鉄道の技術者が利用可能となるよう「日々の測定データをサーバに送り、サーバで解析・診断を行い、補修の指示」の自動化を目指す

### 参考文献名

(1) 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 森裕貴, 綱島均, 松本陽: 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, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第24号, pp.39-46, 2020.

(2) 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 綱島均, 松本陽: 小型汎用情報端末を活用した列車動揺検査手法の開発, 第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S2-2-3, 2020

(3) 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 綱島均, 松本陽, 朝山翔太: 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, 第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S2-2-4, 2020

(4) 篠田憲幸, 佐藤安弘, 緒方正剛, 綱島均, 松本陽: 列車動揺検査におけるGPS速度の補正方法について, 日本機械学会関東支部3年3月

(5) 篠田憲幸, 森裕貴, 水間毅, 綱島均: GPS速度の精度検証と列車動揺検査への活用について, 電気学会研究会交通・電気鉄道リニアドライブ合同研究会, pp.109-113, 2020.