

講演 3

営業列車を用いた軌道・車両の
コンディションモニタリング

上席研究員

佐藤 安弘

2014



テーマ 鉄道の安全・安心と地域輸送を支える技術

営業列車を用いた軌道・車両の コンディションモニタリング

交通システム研究領域 上席研究員 佐藤 安弘

2014



テーマ 鉄道の安全・安心と地域輸送を支える技術

講演内容

1. コンディションモニタリングの重要性
2. コンディションモニタリングの例
3. 交通安全環境研究所の取組
4. 脱線係数のモニタリング
5. プローブ車両
6. その他の取組
7. まとめ

1. コンディションモニタリングの重要性

鉄道の安全・安定輸送 \longleftrightarrow 施設や車両の的確な維持管理(保全)が不可欠

保全の対象	保全の事例	検査の周期(例)
軌道	軌道変位の検測及び補修、摩耗したレールの交換等	1年
車両	車両の状態及び機能についての検査、部品交換、補修	3月
	車両の動力発生装置、走行装置、ブレーキ装置その他の重要な装置の主要部分についての検査、部品交換、補修	4年または走行距離60万km以内
	車両全般についての検査、部品交換、補修	8年
電気設備	電車線、変電所機器、運転保安設備等の検査、部品交換、補修	重要なもの1年、その他のもの2年
土木構造物	トンネル、橋りょう等の目視検査、補修等	2年

コンディションモニタリング \rightarrow センサを活用して、検査の頻度(や精度)を高める



安全性の向上に役立つ(脱線に対する安全性にかかわる**軌道・車両の予防保全に着目**)

1. コンディションモニタリングの重要性

平成25年6月閣議決定「日本再興戦略」

○安全で強靱なインフラが低コストで実現されている社会

インフラの損傷度等をデータとして把握・蓄積・活用することにより、早期の異常検知により事故を未然に防ぎ、最適な時期に最小限のコストによる補修によってトータルライフサイクルコストが最小化

平成20年6月 交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会提言

○新技術の導入の促進と今後の技術開発の方向性

省力化等による、コストパフォーマンスに優れた鉄道輸送の実現(センシング技術を活用した施設・車両の故障検知システム等)

○鉄道施設・車両の今後のあり方

予防保全の考え方に基づく計画的な維持管理、各種機器状態監視機能の導入など省力化技術の導入

2. コンディションモニタリングの例

鉄道事業者等の取組例

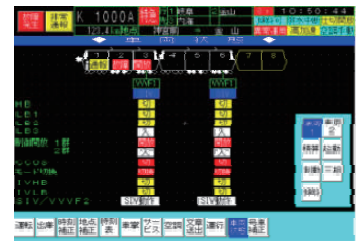
検査対象 センサ搭載場所	軌道	車両
営業車両	<ul style="list-style-type: none"> 自動動揺測定装置 慣性正矢軌道検測装置 自動継目遊間測定装置 	<ul style="list-style-type: none"> 車両モニタ装置
地上側	<ul style="list-style-type: none"> 軌道変位常時監視システム レール軸力・温度監視 	<ul style="list-style-type: none"> 車輪フラット検出装置 軸箱温度検出装置 車両走行状態監視装置



慣性正矢軌道検測装置



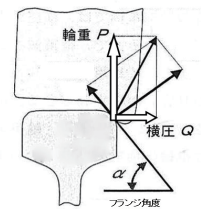
自動継目遊間測定装置



車両モニタ装置

3. 交通安全環境研究所の取組

検査対象 センサ搭載場所	軌道
営業車両	<ul style="list-style-type: none"> 脱線係数のモニタリング (PQモニタリング台車) プローブ車両



脱線係数のモニタリング



プローブ車両



曲線部等の脱線係数Q/P増加

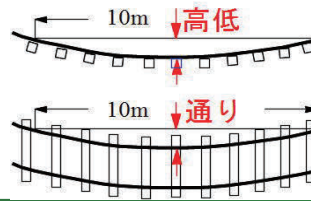
輪重減少

横圧増加

車両の異常

軌道変位増加等

摩擦係数増加等



3. 交通安全環境研究所の取組

背景

脱線係数のモニタリング

平成12年3月 日比谷線
中目黒事故(急曲線部乗り上がり脱線)



原因究明のための脱線係数測定



脱線に対する安全の評価指標である脱線係数Q/Pは、レール・車輪間の潤滑の影響を受け、**時間帯によって大きく変動することが初めて判明**

営業列車で脱線係数の増大を検知して保守に活かす方法を研究

3. 交通安全環境研究所の取組

背景

プローブ車両

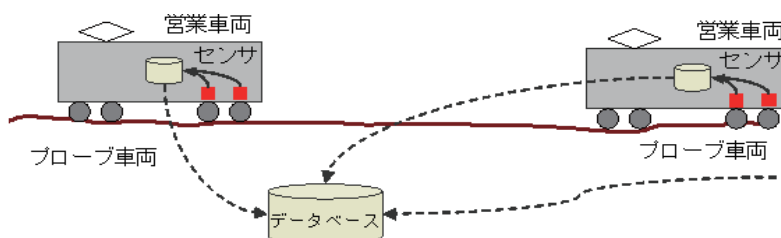
地方鉄道はどこも厳しい
経営環境

このままでは軌道の十分な
メンテナンスができず
安全が脅かされる恐れ



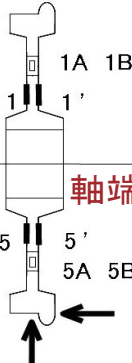
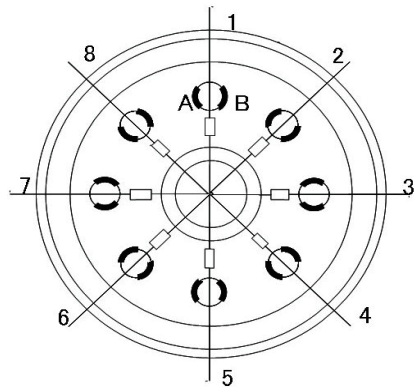
軌道変位大、道床不良の例

営業列車に簡単なセンサを設置し、軌道状態の劣化を早期に把握する方法を研究



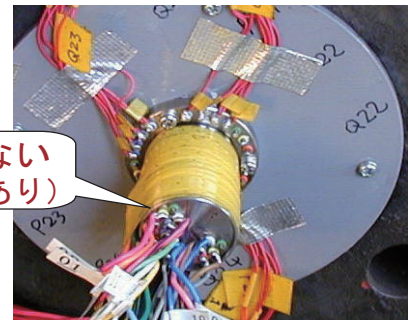
4. 脱線係数のモニタリング

4.1. 従来の脱線係数測定法



回転しない
(摺動部あり)

軸端の穴あけ



スリップリング取付

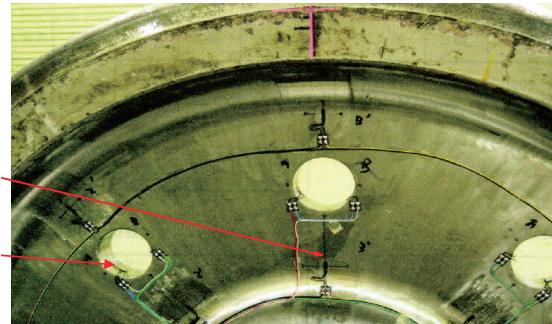
測定システム自身の
耐久性に難



横圧測定用ひずみゲージ

輪重測定用ひずみゲージ

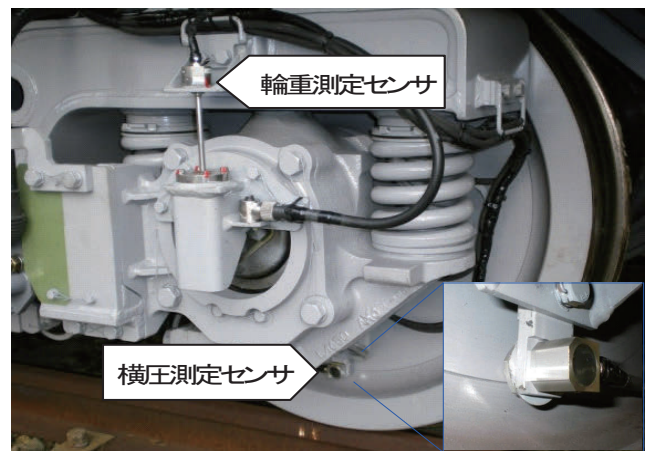
営業車による常時観測



4. 脱線係数のモニタリング

4.2. モニタリングに用いる脱線係数測定法

回転部分 = 輪軸にセンサを直接につけない



非接触変位センサを用いる

4. 脱線係数のモニタリング

4.3. 実用化までの取り組み

平成15年～ 輪重測定法の実験的検討



軸ばねひずみ
による測定法



台車枠ひずみ
による測定法



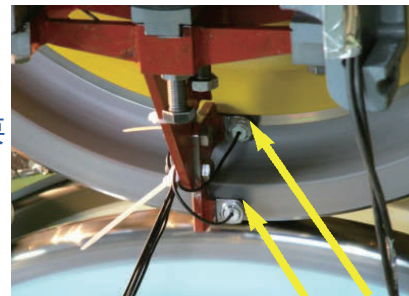
軸ばねたわみ
による測定法

平成16年～ 車輪の曲げ変形量により横圧を推定する方法の検討

0.1mm以下の微少量を正確に測定する必要



既存の台車軸箱の改良(ガタ縮小)、
変位センサ取付治具の検討、台車
試験機による曲線通過実験等



リム部 板部

車輪の曲げ変形量測定

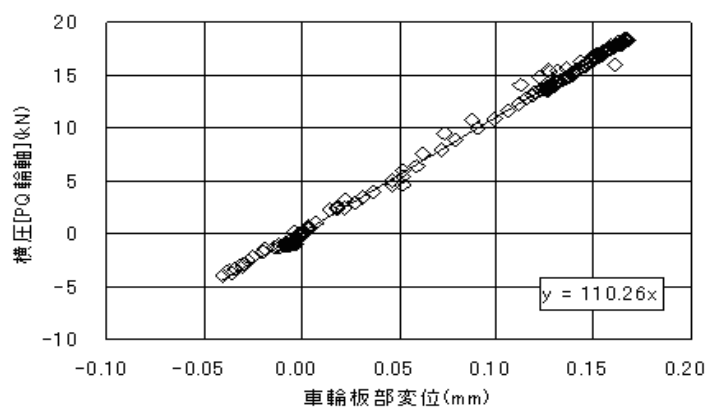
4. 脱線係数のモニタリング

4.3. 実用化までの取り組み

平成17年～実車走行試験



従来の輪重横圧測定法との
同時測定による比較検証



車輪板部変位と横圧の関係

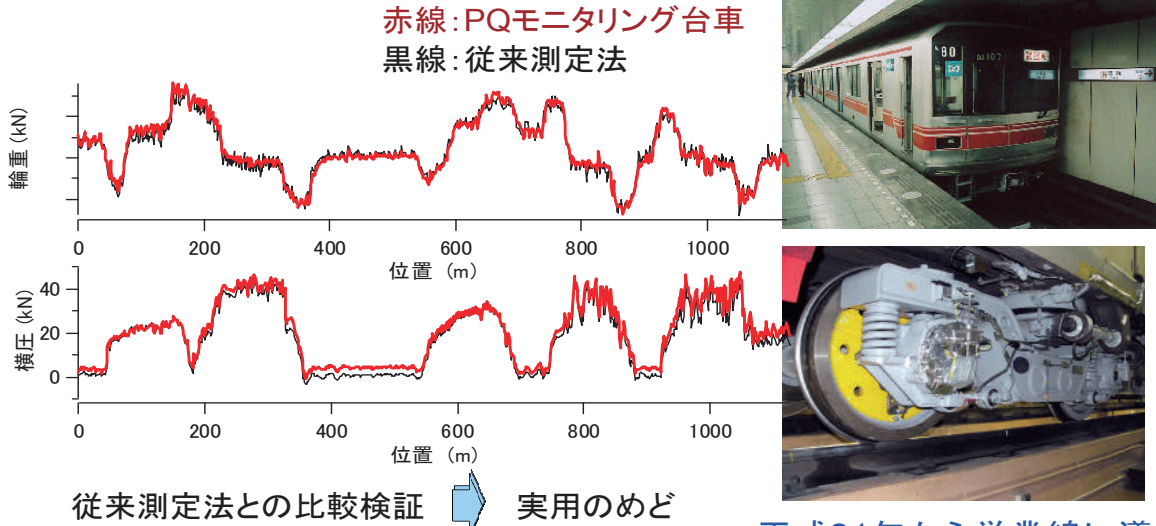


線形関係にあることを確認

4. 脱線係数のモニタリング

4.3. 実用化までの取り組み

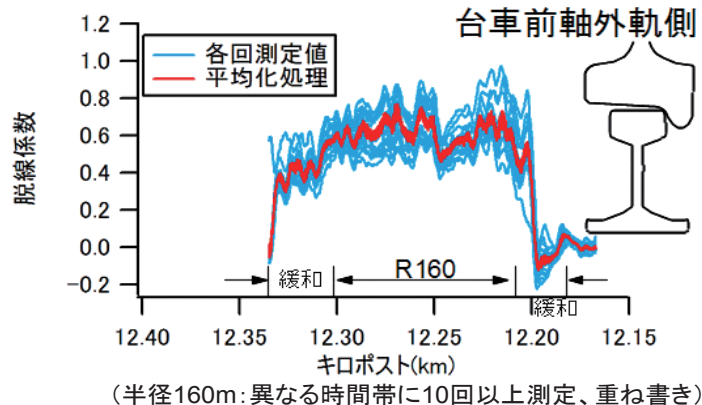
平成19年～量産仕様台車による実車走行試験



4. 脱線係数のモニタリング

4.4. 脱線係数のモニタリング結果例

(1) 特定曲線の脱線係数



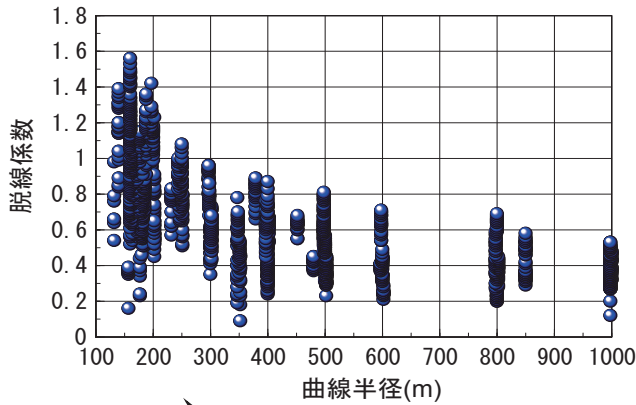
同じ曲線を走行するたびに脱線係数が変動

→ レール表面の潤滑状態等の影響

4. 脱線係数のモニタリング

4.4. 脱線係数のモニタリング結果例

(2) 路線全線の脱線係数



同じ曲線半径でも
脱線係数のばらつきが大きい



レール表面の状態のほか、軌道の線形や軌道変位等の影響

脱線係数の増大要因を絞り込む必要

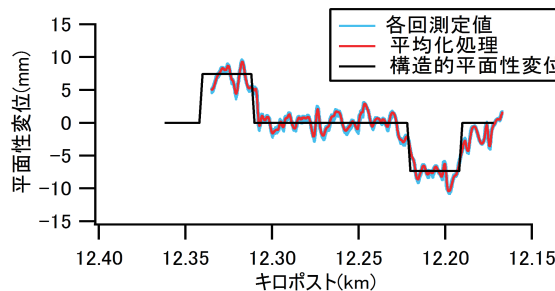
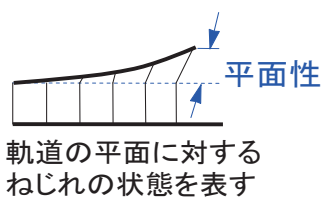
半径250mより急な曲線では、脱線係数の大きな値も見られるが、外軌レール塗油等による摩擦係数低下に伴い乗り上がりは発生しにくく、脱線防止ガードにより安全性は担保されている

4. 脱線係数のモニタリング

4.5. 現在の研究

モニタリングにより得られる情報 → 軌道の保守に活用するための研究

- 前軸外軌側Q/P → 安全性の評価に用いるが、軌道側で直接管理しにくい
- 前軸内軌側Q/P → 急曲線部における摩擦係数に近似
⇨ レール・車輪間の摩擦係数の大小を評価
- 各車輪のP → 輪重変動を評価 ⇨ 平面性変位を算出可能

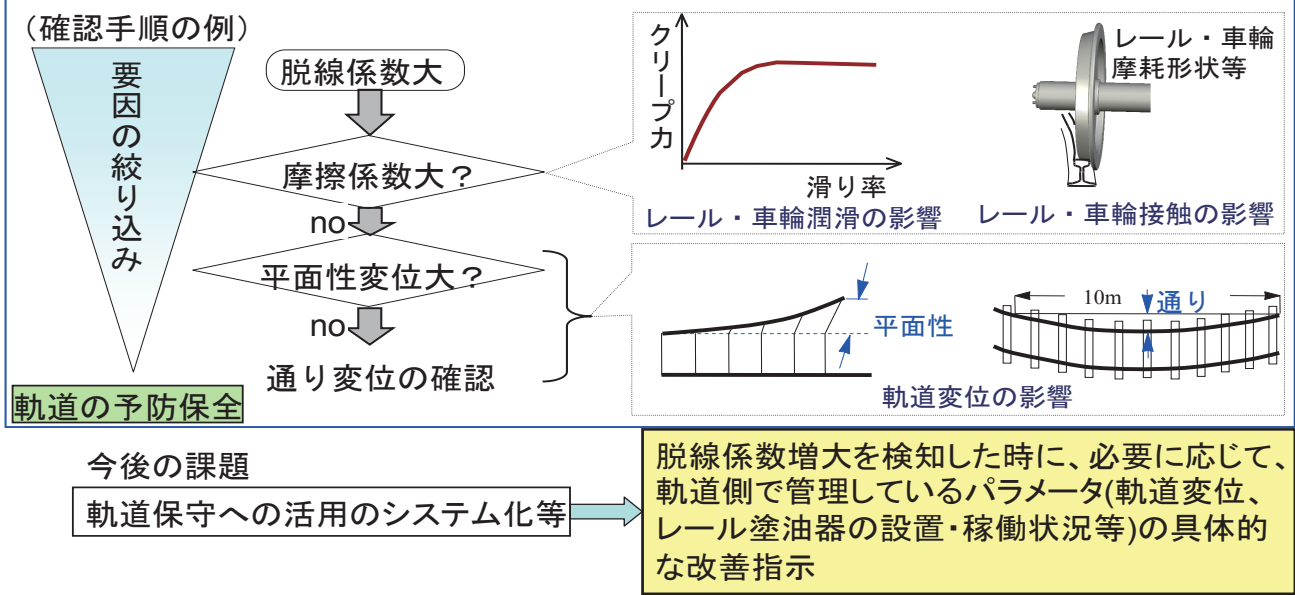


平面性変位の算出例

4. 脱線係数のモニタリング

4.6. 今後の方向性

脱線係数増大要因を絞り込み、保守へ活用



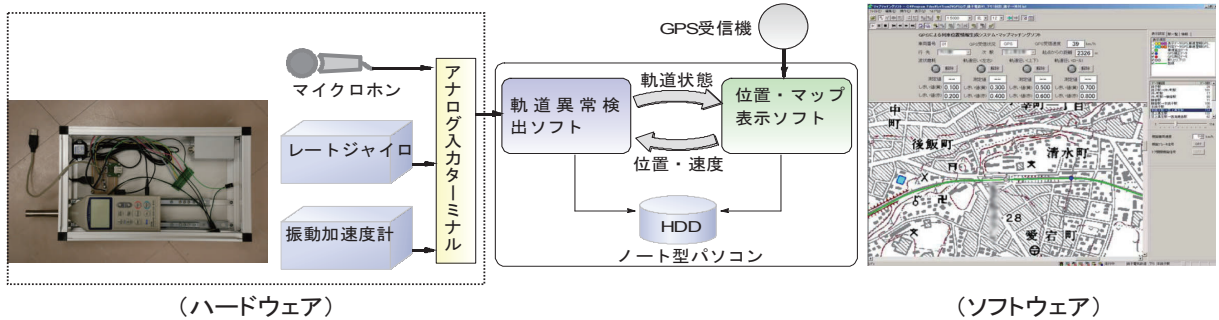
5. プローブ車両

5.1. これまでの取り組み

平成16年度～19年度 地方鉄道の安全性・保守性向上のためのプローブ車両の技術開発

(日本大学生産工学部、日本大学理工学部、三菱重工業株式会社、交通安全環境研究所)

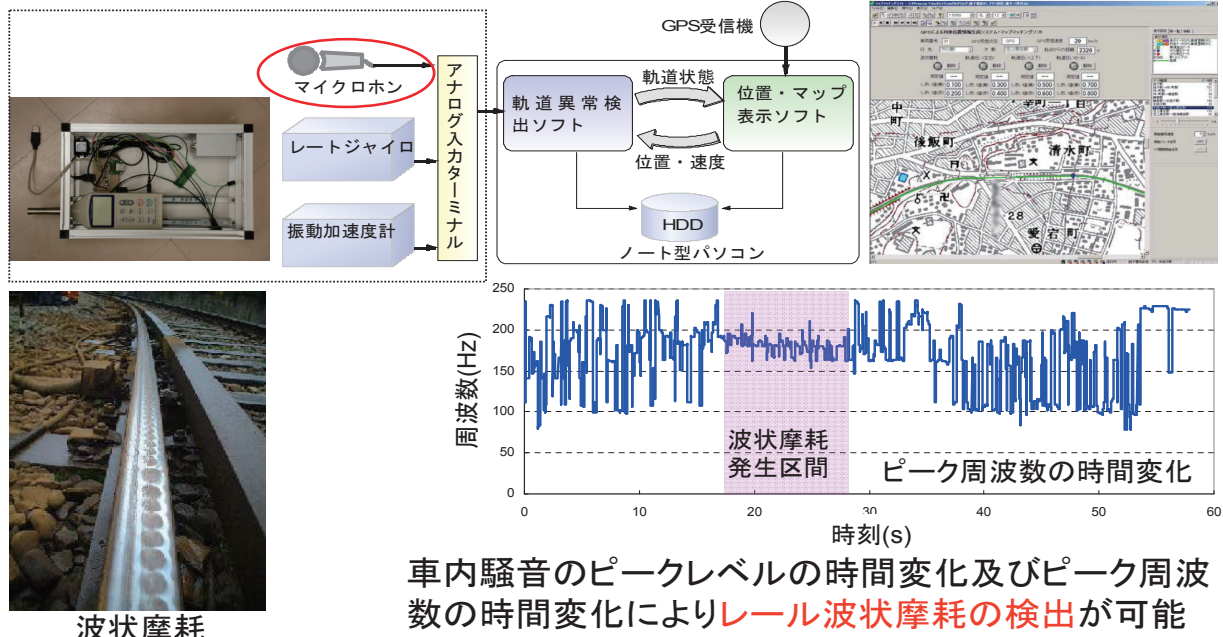
鉄道・運輸機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」



営業車両の車内で振動等を測定し、軌道の異常等の発生位置をモニタ画面上の地図上に表示するシステム(可搬型プローブシステム)を構築

5. プローブ車両

5.1. これまでの取り組み



5. プローブ車両

5.1. これまでの取り組み

平成20年度～22年度

車両振動等の測定により軌道状態を動的に評価



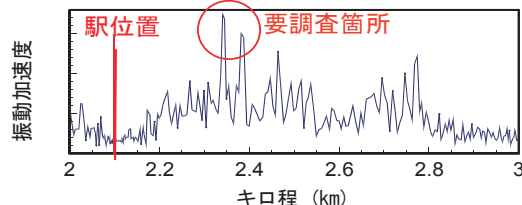
運転台等への設置

車両改造の必要が無い
(車両機器との接続不要)



軌道異常の発見

従来の目視や体感による動揺検知よりも客観的なデータを提供可能



測定データ例

高頻度の測定により軌道状態の変化を診断可能

5. プローブ車両

5.1. これまでの取り組み

平成23年度～24年度 可搬型レール状態診断装置の高性能化
(株式会社京三製作所、日本大学生産工学部、
交通安全環境研究所)
科学技術振興機構「研究成果最適展開支援プログラム」

信頼性の高い実用レベル
の装置として可搬型装置
の高性能化を果たした

- ・小型化(従来装置の40%に削減)
- ・操作の簡略化及び自動化を実現
- ・バッテリー駆動連続約6時間



手作りの従来装置



新装置



従来装置

5. プローブ車両

5.1. これまでの取り組み

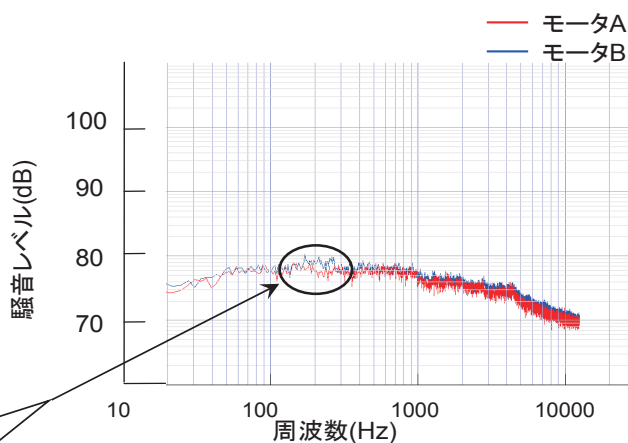
車内騒音による車両の
予防保全への適用検討

モータなど駆動系の
モニタリング

マイクロホン(騒音計)で取得したデータ
を周波数解析することにより、
加減速時の周波数分布のずれを検出



今後、異常の兆候検出の検証



実車走行試験における同型式の2つのモータ
の周波数特性(52km/hから減速時)

5. プローブ車両

5.2. 現在の研究

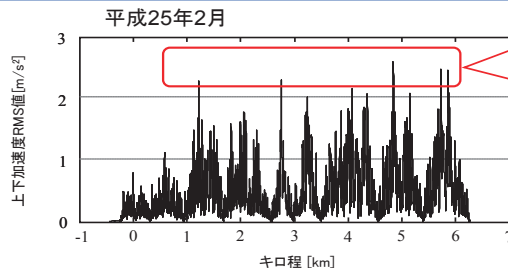


実路線にて測定、その結果を事業者へフィードバック

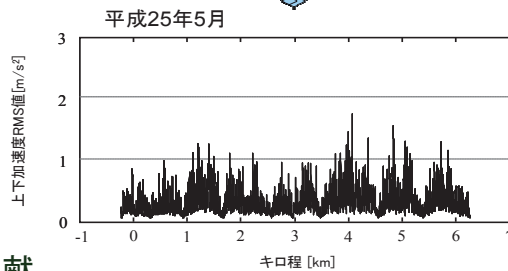
事業者が必要に応じて軌道補修等を実施

地方鉄道の安全・安定な維持に貢献

プローブ車両(新装置)を使用した軌道状態の評価



著大な加速度を検出した箇所の軌道を補修



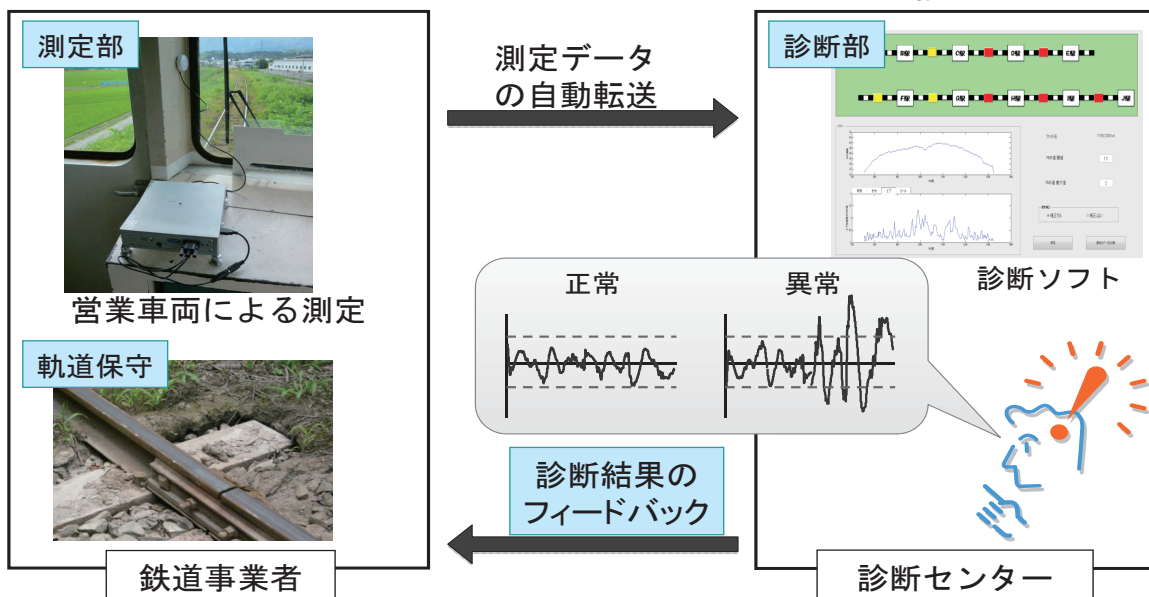
軌道整備後の振動低減確認

測定データ例

5. プローブ車両

5.3. 今後の方向性

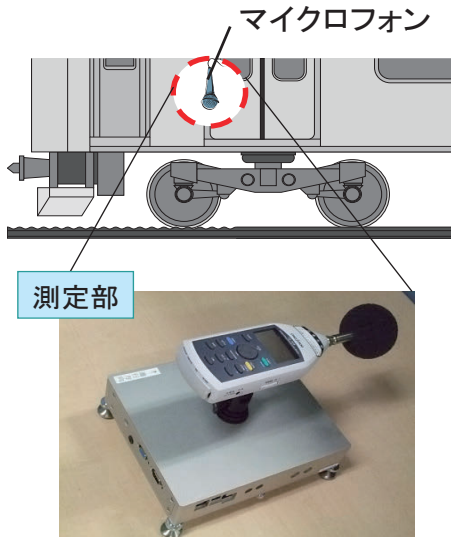
(1)測定データの分析と診断を遠隔地で一元的に行える仕組みの構築



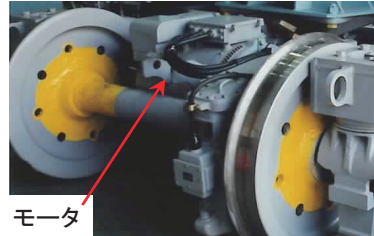
5. プローブ車両

5.3. 今後の方向性

(2)車両の予防保全への適用



騒音測定機能を活用し、モータなど駆動系の故障の未然防止



6. その他の取組

6.1. 車両のコンディションモニタリング

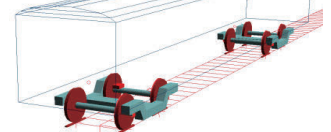
目的 走行安全性に影響を及ぼす
車両側故障の未然防止

台車(軸箱、台車枠)や車体に振動センサ

走行中の各部の振動をモニタリング

比較することにより異常判定

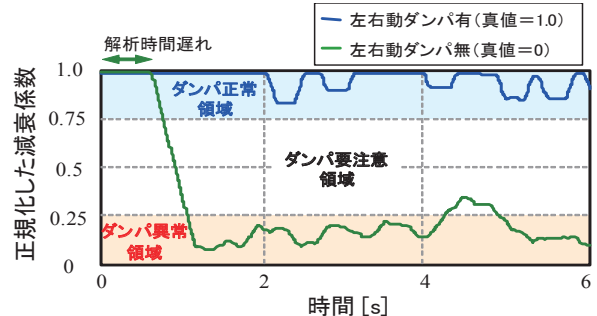
車両モデル及び軌道モデルを構築



走行中の台車・車体各部の振動(正常時・異常時)をシミュレーションで予測



ダンパの故障模擬検証実験




実験結果(ダンパの異常が判定できることを確認)

6. その他の取組

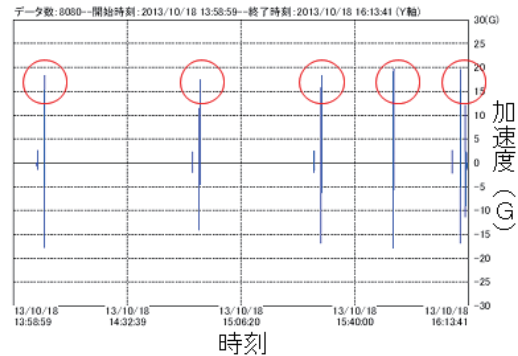
6.2. 発条転てつ機のモニタリング

目的 発条転てつ機の転換不良等による脱線の未然防止

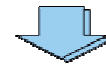
発条転てつ機に振動センサ



地方鉄道向けにできるだけ簡易な構成(センサ・記録部の小型化、バッテリー駆動)
 転換動作中の振動をモニタリング →
 加速度値、復位動作までの時間



通常の転換動作時には再現性があることを現地実験で確認



今後、異常の兆候検出の検証

定期的な目視等による点検のほかに、定量的な指標により日々の稼働状態を把握することが可能

7. まとめ

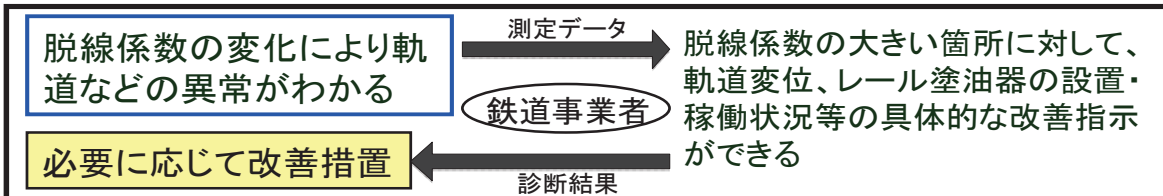
軌道・車両のコンディションモニタリングの取組について紹介

センサを活用して、検査の頻度(や精度)を高め、安全性の向上につなげる取組を進める



予防保全への貢献

脱線係数のモニタリング(望ましい姿)



プローブ車両(望ましい姿)

