

ステレオカメラによる 3次元電車線振動測定手法の開発

鉄道力学研究部 集電力学研究室
主任研究員 長尾 恭平

電車線振動測定のための目的

- 新線開業時や新型車両導入時の安全性評価

例)パンタグラフ通過時の支持点トオリ線押上量

- 異常発生箇所の調査

- 研究用途

- 集電系に関する現象解明

- メンテナンス等への活用

例)パンタグラフ接触力の推定

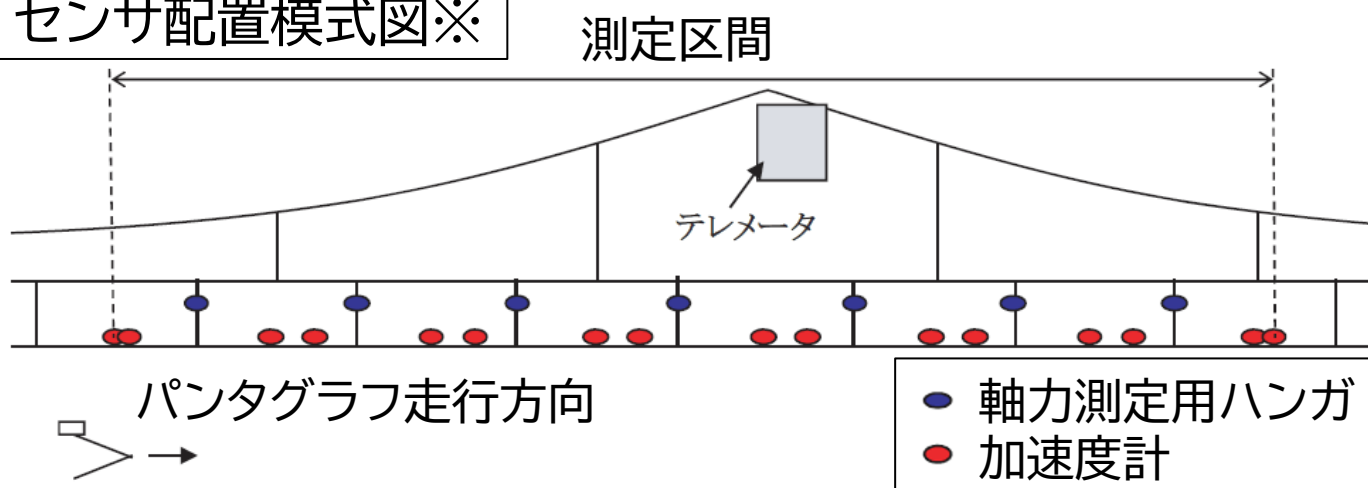
- 基盤技術の開発

例)シミュレーションの妥当性確認

➡ **低コストな測定手法の開発**



センサ配置模式図※



※臼田, 池田, 山下, 源, 営業線におけるパンタグラフ接触力の地上モニタリング,
鉄道総研報告, Vol. 24, No. 2, pp. 29-34, 2010

- 測定手法の用途と要求仕様
- ステレオカメラによる測定の利点
- 測定手順
- カメラパラメータの校正
 - 検証試験1-1 内部パラメータの校正
 - 検証試験1-2 外部パラメータの校正
- 3次元振動測定
 - 検証試験2-1 疑似ランダム波加振条件での測定
 - 検証試験2-2 実設備への適用
- まとめ

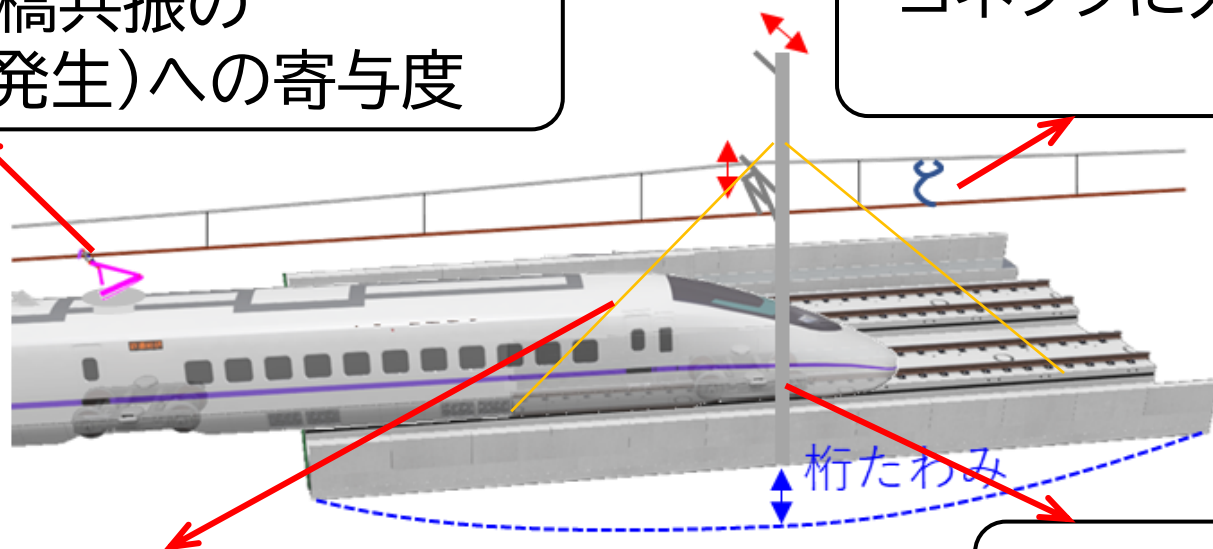
測定手法の用途 —— 例)シミュレーションの開発

Railway Technical Research Institute

高架橋共振箇所での現象説明・把握

高架橋共振の
離線(アーク発生)への寄与度

コネクタに入力される変位の計算と
寿命の推定



対策工の効果の定量的な見積もり

電柱建植位置が
電車線振動に与える影響

シミュレーションの開発段階では、フィールドデータとの比較・検証が不可欠！
複数箇所、多点での測定

測定手法への要求仕様

対象物 トロリ線上の金具(マーカ無し)

測定距離 例)水平25m, 高さ12m程度*

*市街部での典型的な跨道橋の寸法感

振幅 10 mm~200 mm 程度

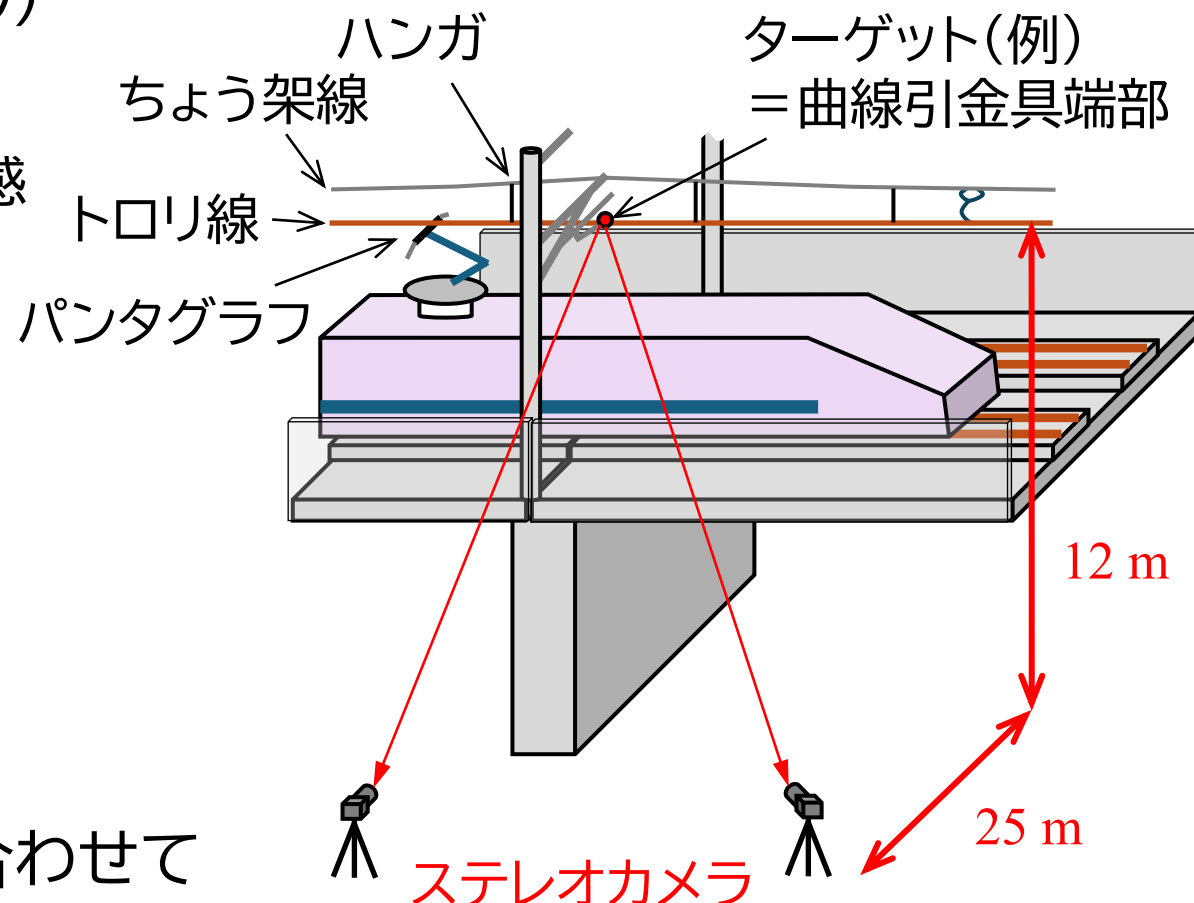
振動方向 3次元

周波数 DC~20 Hz 程度

> 列車速度÷ハンガ間隔 5 m



ステレオカメラ(2台1組のカメラ)を用い,
デジタル画像相関法と**三角測量法**を組み合わせ
ターゲットの3次元振動を測定する手法を開発する



ステレオカメラによる測定の利点

非接触測定であり, 鉄道設備への仮設が不要

→ 線路立入・停電作業が不要

安全かつ低コスト

測定機器は実質カメラのみ

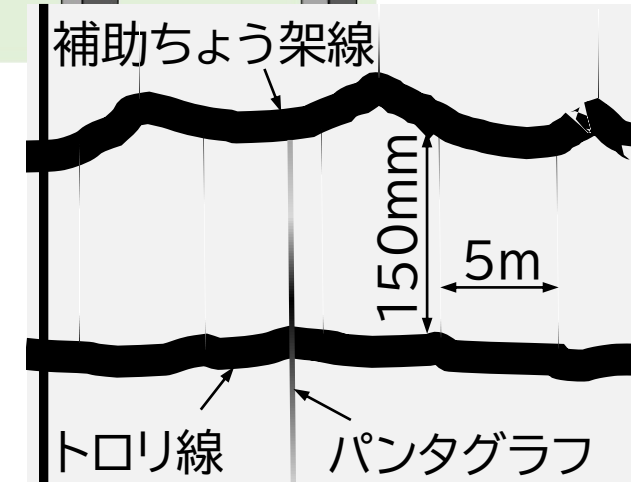
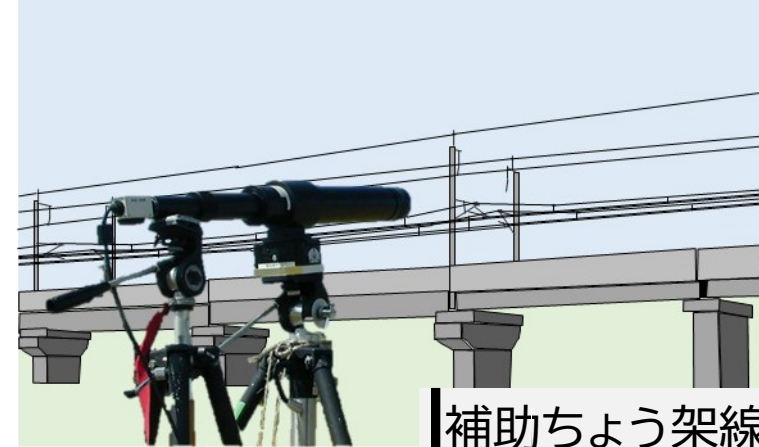
→ 特殊な測定機器が不要。低コスト

3次元測定が可能

例) 高架橋振動に伴い電車線設備は

線路方向, 線路直角方向にも振動

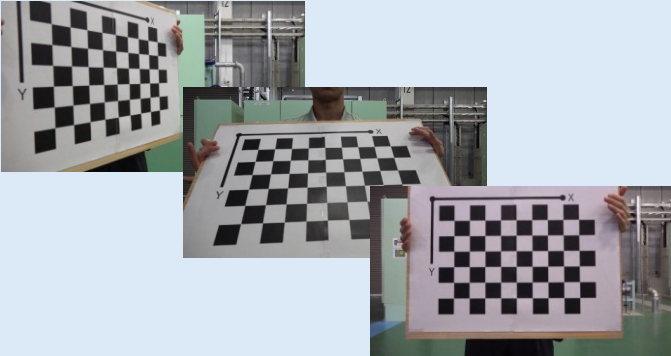
特殊な測定機器による測定の例:
超異方倍率レンズ



取得画像のサンプル図

測定手順

①内部パラメータ校正 =カメラの特性



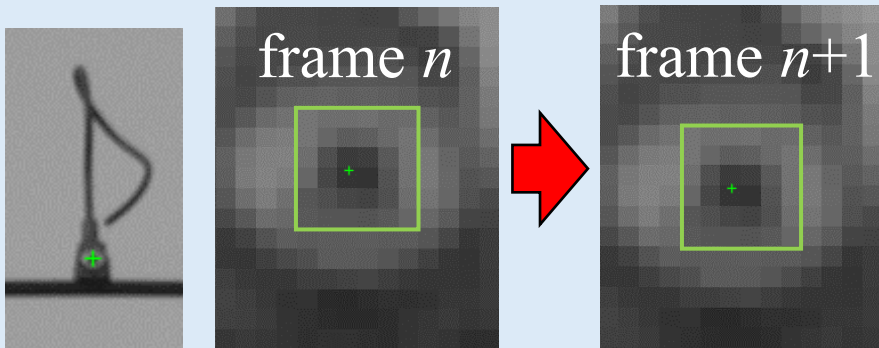
②カメラ設置



③外部パラメータ校正 =カメラの位置



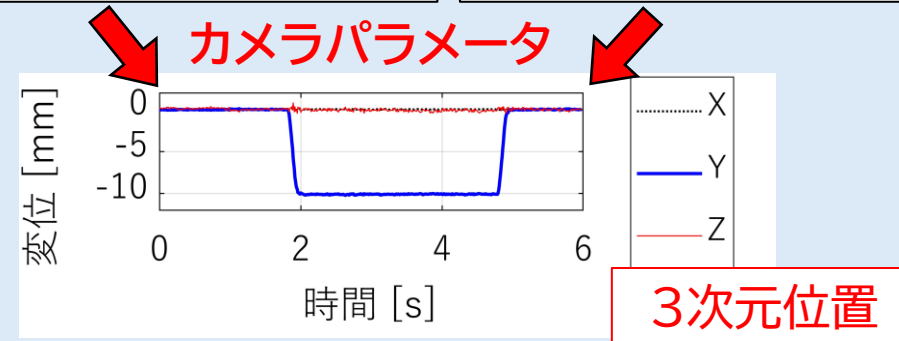
④動画撮影&ターゲット追跡 ←デジタル画像相関法



⑤3次元位置の導出 ← 三角測量法

カメラA画像上の2次元位置

カメラB画像上の2次元位置



カメラパラメータの校正

ワールド座標系 測定対象物が存在する空間内に任意に取った座標系

カメラ座標系 カメラレンズに固定された座標系

画像座標系 撮像素子に固定された座標系

以下の**カメラパラメータ**を校正する。

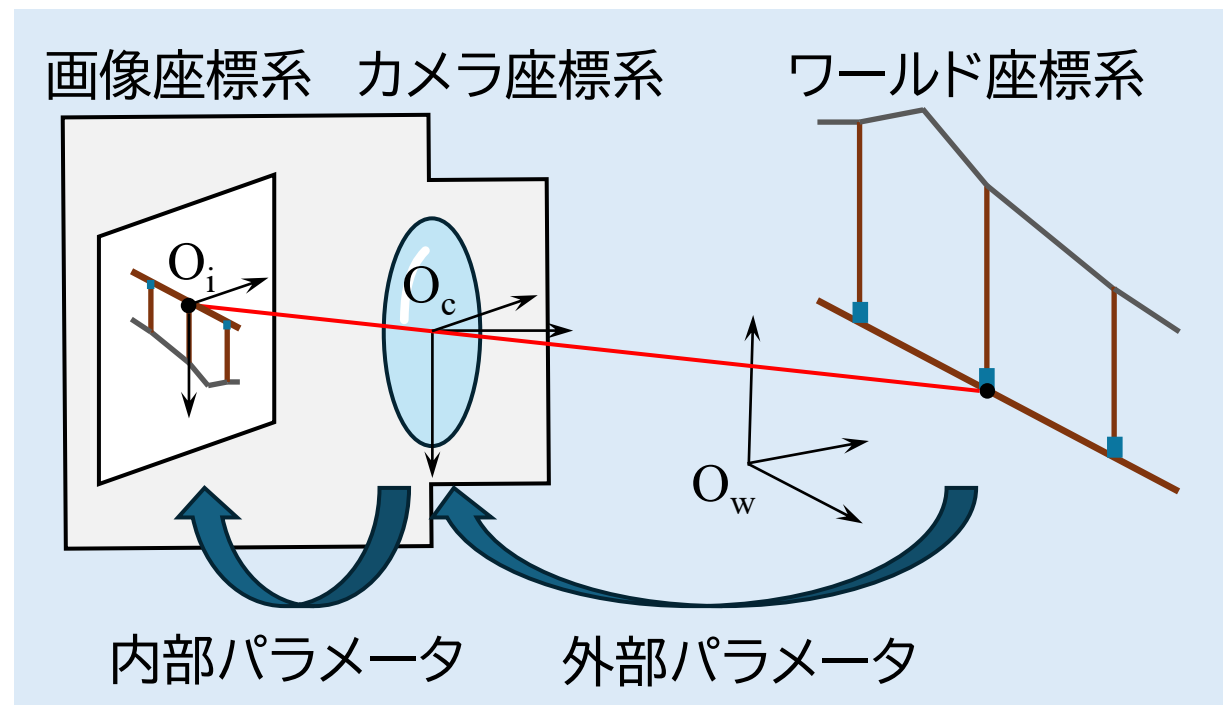
内部パラメータ

カメラレンズの焦点距離や歪みに依存
予めカメラレンズに対して求めておく

外部パラメータ

カメラの位置・姿勢に依存

試験を実施する**現地で校正**する



検証試験1-1 内部パラメータの校正

Railway Technical Research Institute

校正板の実寸法情報と画像座標上の位置情報を突き合わせて**内部パラメータを校正**

| 画像グループ | カメラとの距離 | 撮影角度の変化 | 画像枚数 |
|--------|---------|---------|-------|
| グループ1 | 遠～近 | 無し | 2～481 |
| グループ2 | 遠い | 有り | 2～217 |
| グループ3 | 近い | 有り | 2～56 |

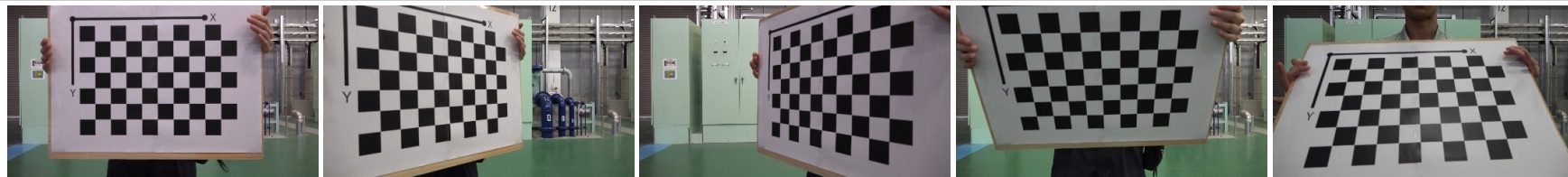
グループ1



グループ2

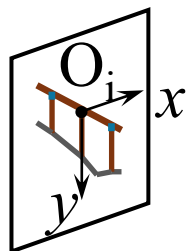
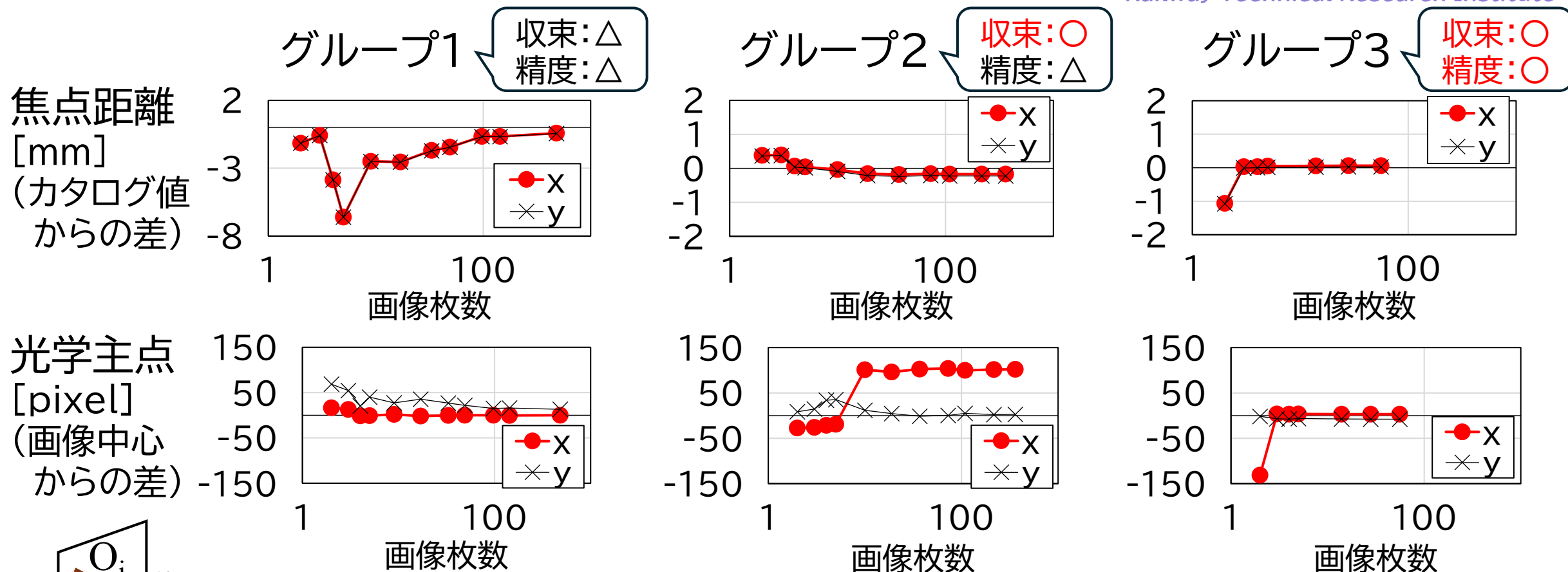


グループ3



検証試験1-1 内部パラメータの校正

Railway Technical Research Institute



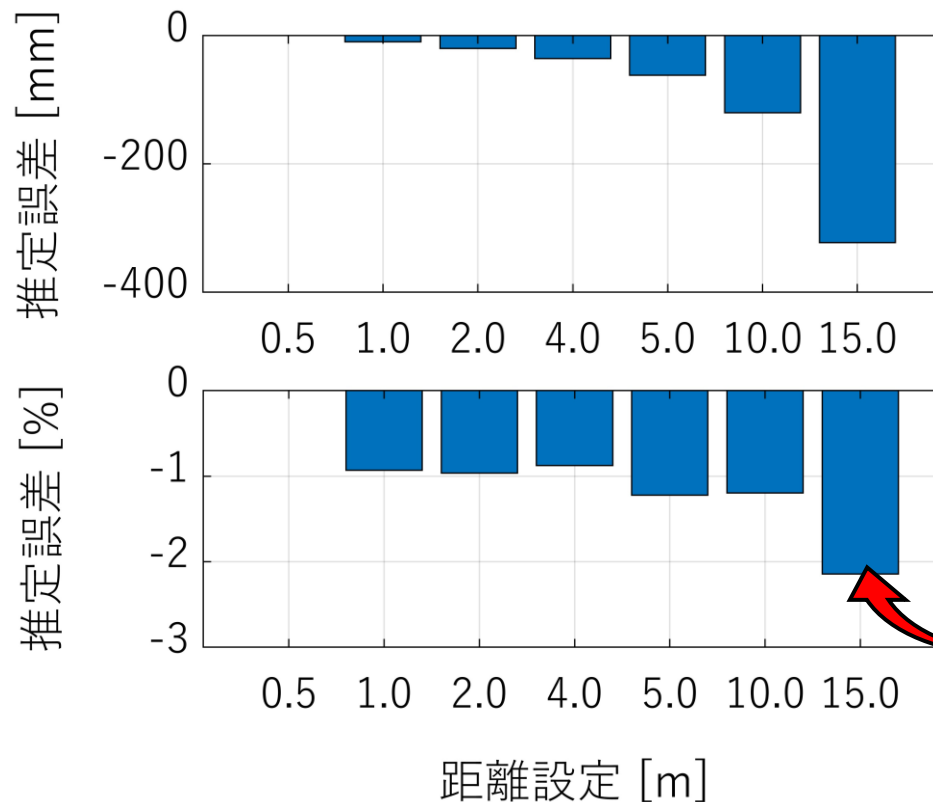
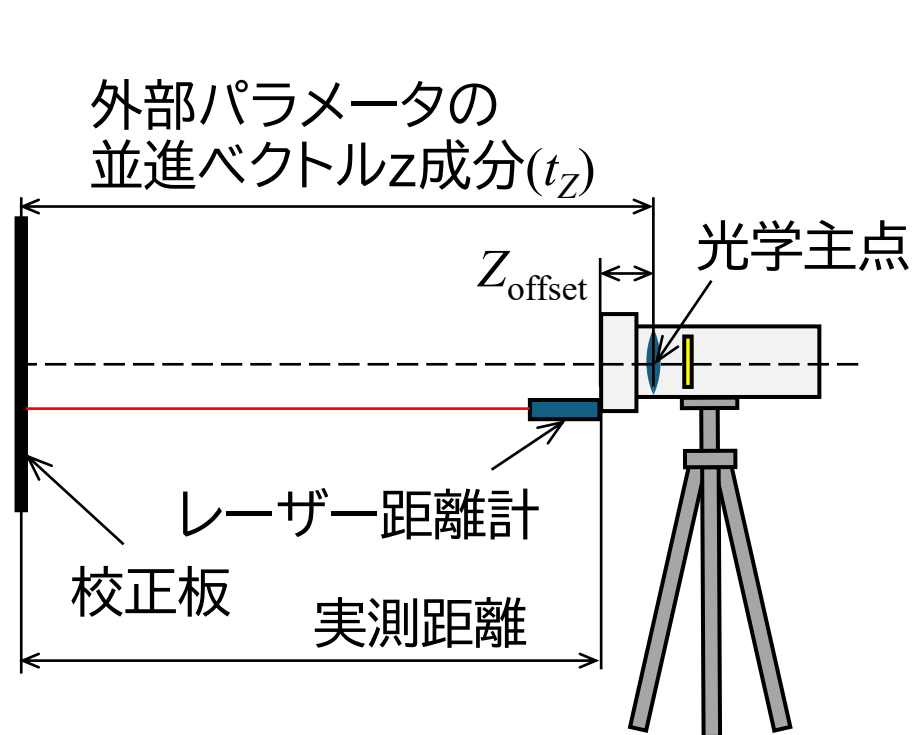
← (参考)画像座標系

* 凡例のx, yは画像素子上の座標系におけるx方向、y方向に対応するパラメータを表す

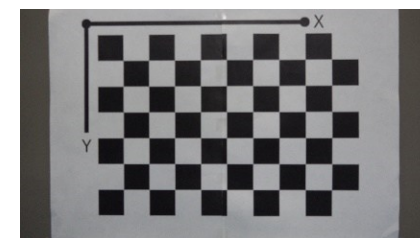
校正板の位置はカメラから十分に近く設定し、かつ角度の変化を付けることが望ましい

検証試験1-2 外部パラメータの校正

校正板を撮影した画像から、**校正板に対するカメラの位置(=外部パラメータ)**を推定
ここでは、校正板-カメラ間距離を代表値として推定精度を検証



(参考)撮影画像



距離 0.5 m



距離 15.0 m

距離10m以下の条件では、概ね1%の誤差で自位置(距離)を推定可能

3次元振動測定 —— 振動測定の原理

Railway Technical Research Institute

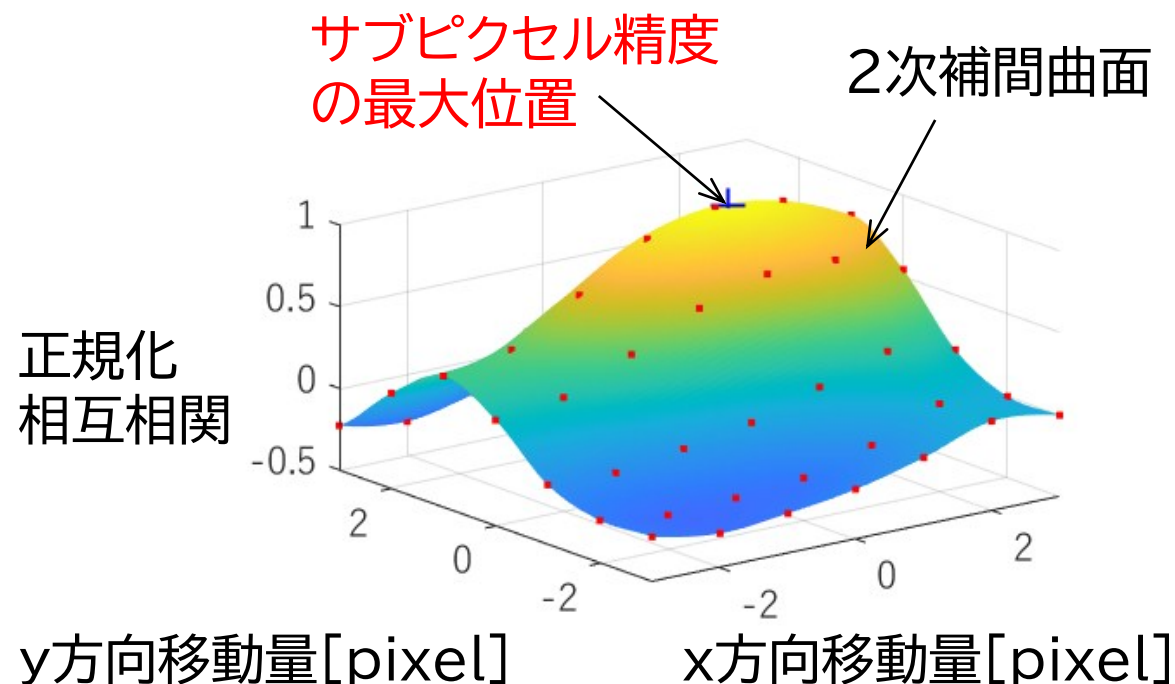
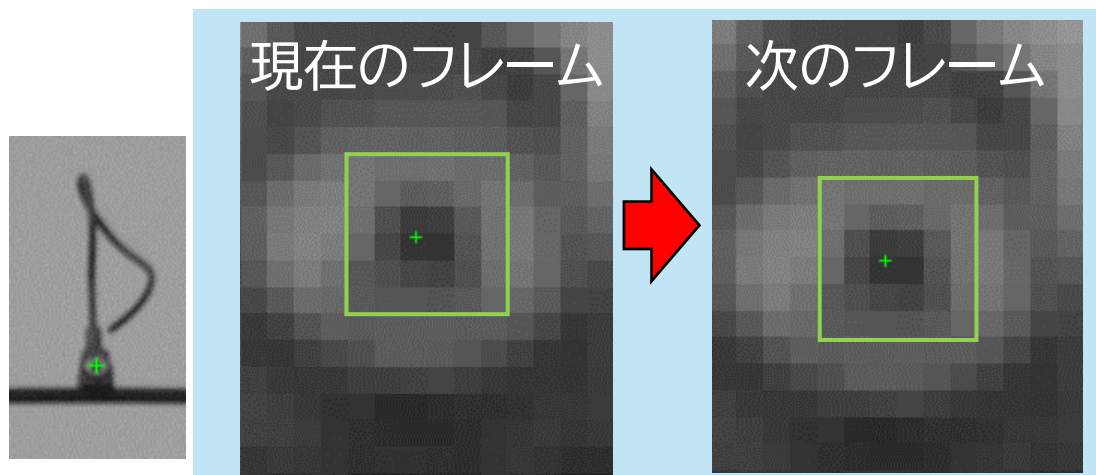
デジタル画像相関法

動画の各フレームで、

測定対象点周囲の画素情報と最も類似した(相関の高い)箇所を探索

→ 画像上の2次元位置の時刻歴データ

ターゲットの例:ハンガ金具

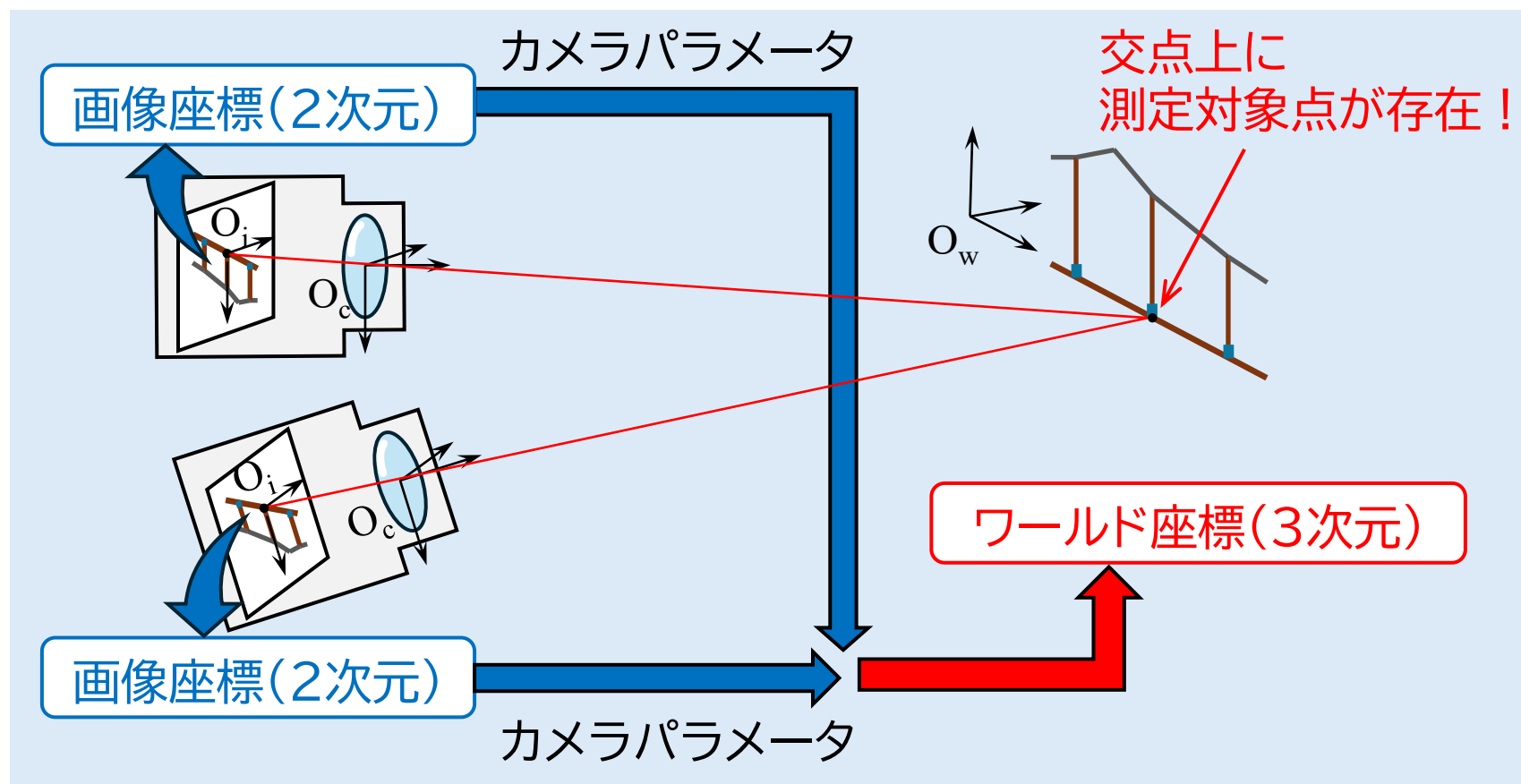


3次元振動測定 —— 3次元位置測定の実理

Railway Technical Research Institute

三角測量法

1組の2次元位置データとカメラパラメータから3次元位置を求める



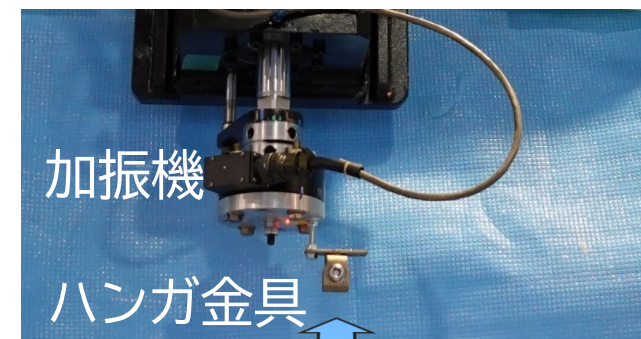
検証試験2-1 疑似ランダム波加振条件での測定

Railway Technical Research Institute

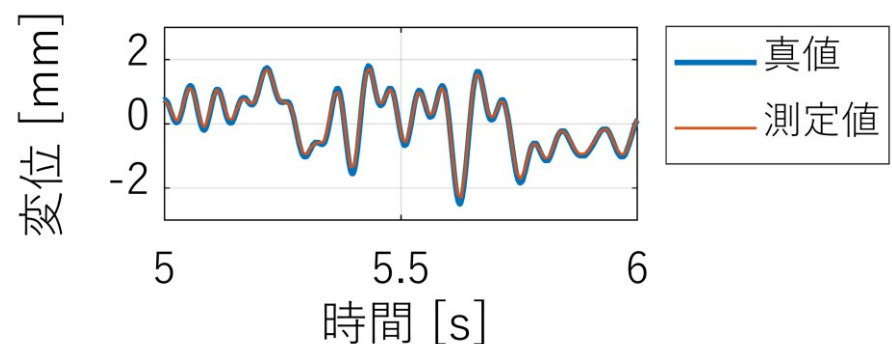
測定対象:ハンガ金具

加振条件:DC~20Hzの疑似ランダム波

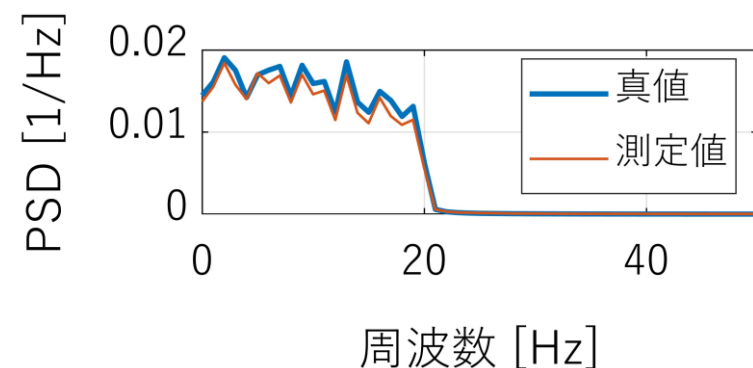
レンズ :焦点距離180mm フレームレート:120fps



約 5 m
約 2 m

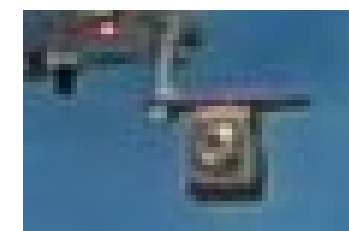
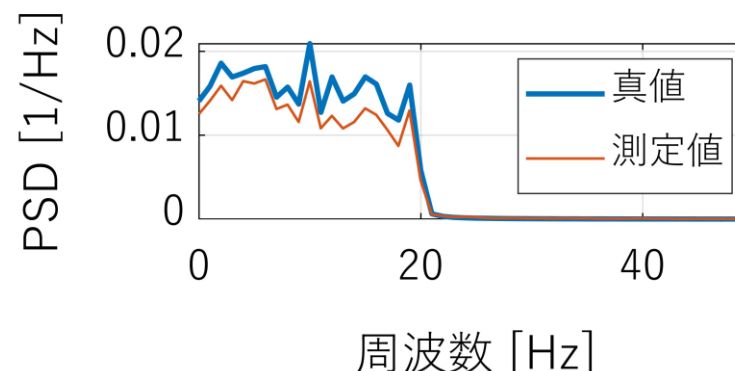


時刻歴波形、PSD
ともに概ね一致



(参考)解像感

(参考)焦点距離35mm

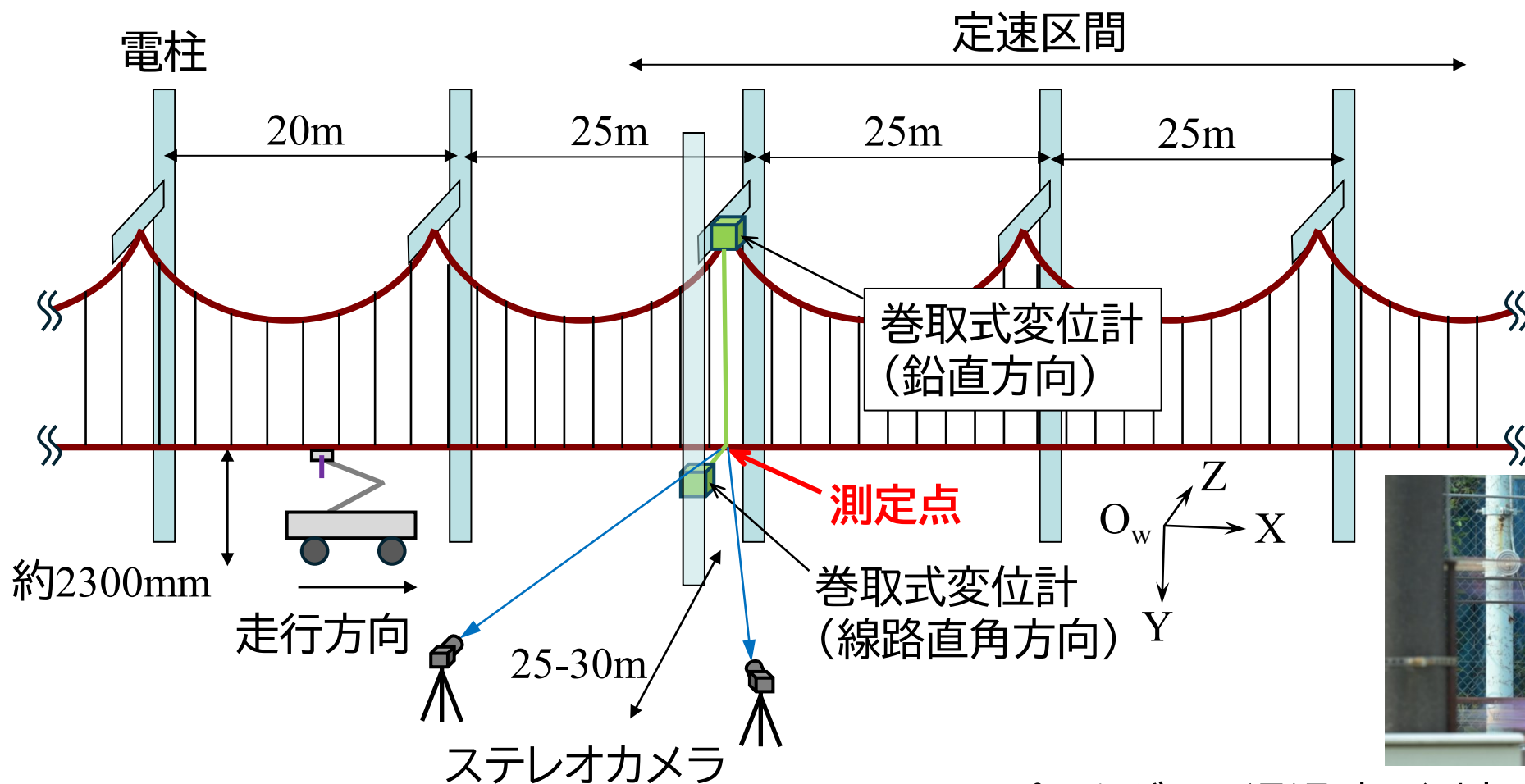


(参考)解像感

検証試験2-2 実設備への適用 —— 試験概要

Railway Technical Research Institute

集電試験装置にてパンタグラフ通過時のトロリ線上の金具の振動を測定



パンタグラフ通過時の測定点近傍の様子

検証試験2-2 実設備への適用 —— 測定結果

Railway Technical Research Institute

カメラの配置

→ 外部パラメータ校正

→ 数回の測定

を3回繰り返した

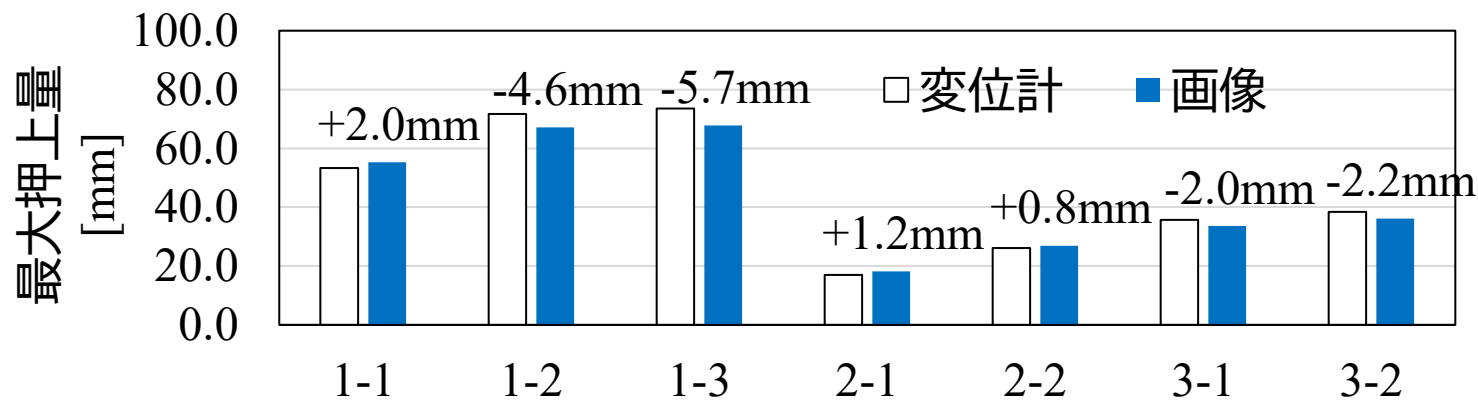
| 試番名 | カメラ間距離 |
|-----|--------|
| 1-N | 約5m |
| 2-N | 約5m* |
| 3-N | 約11m |

*風のある条件

電車線金具の3次元振動を
実用的な精度で測定可能

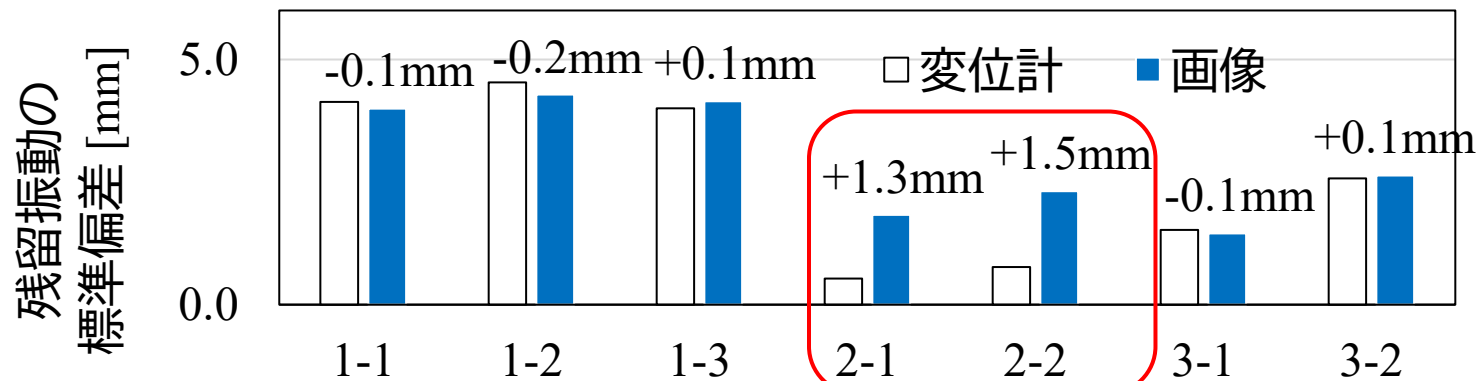
Y方向(鉛直)

→ 変位計測定値基準で7.8%以下のずれ



Z方向(奥行)

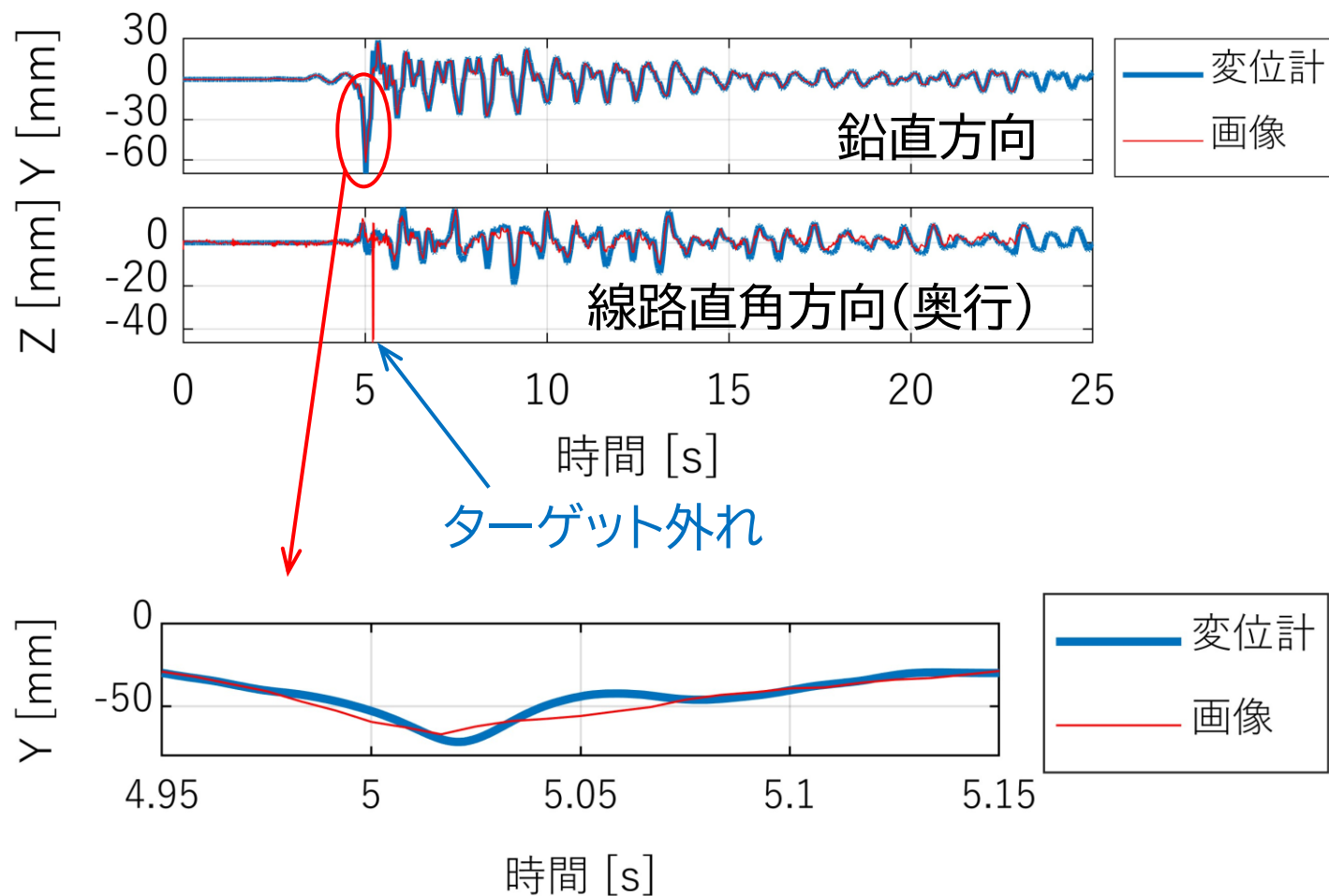
→ 試番1-N, 3-Nでは0.2mm以下のずれ



風でカメラが振動

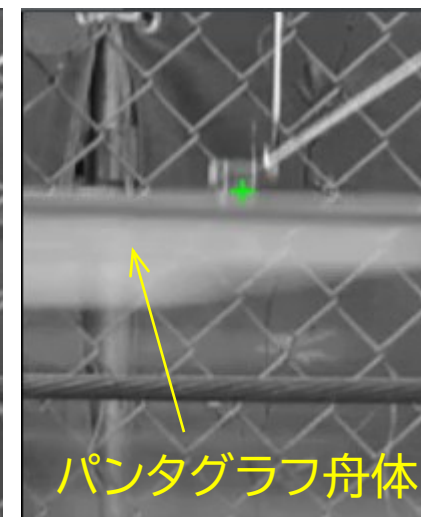
検証試験2-2 実設備への適用 —— 試番1-2 測定波形

Railway Technical Research Institute



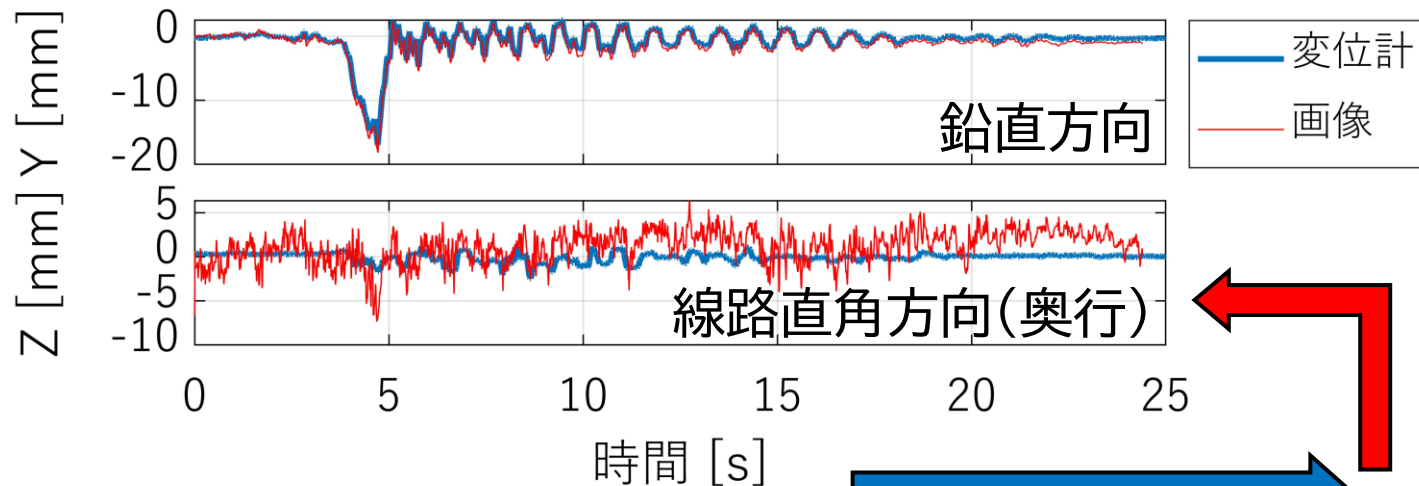
時刻歴波形は
概ね一致

ターゲット外れ 発生フレーム
直前のフレーム



検証試験2-2 実設備への適用 — 試番2-1 測定波形

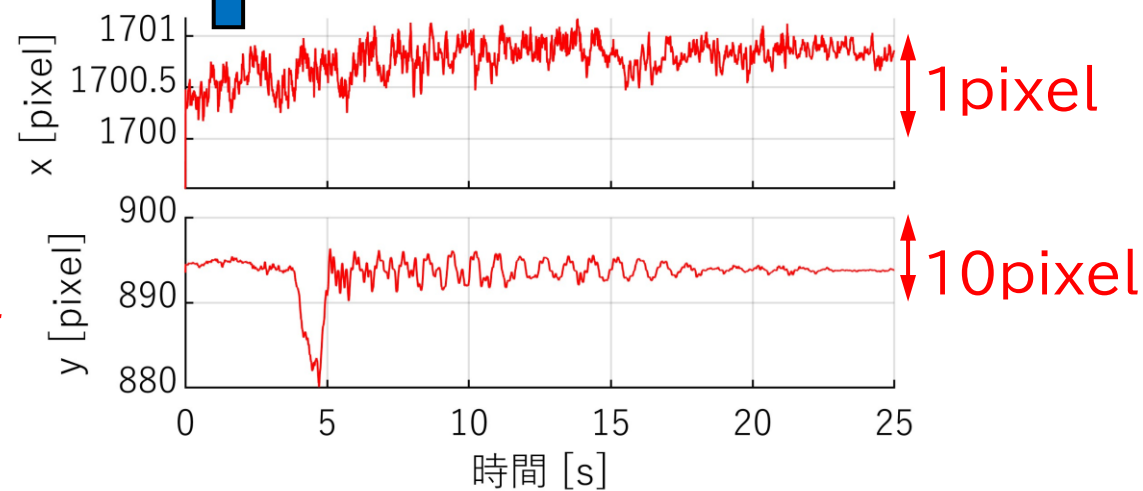
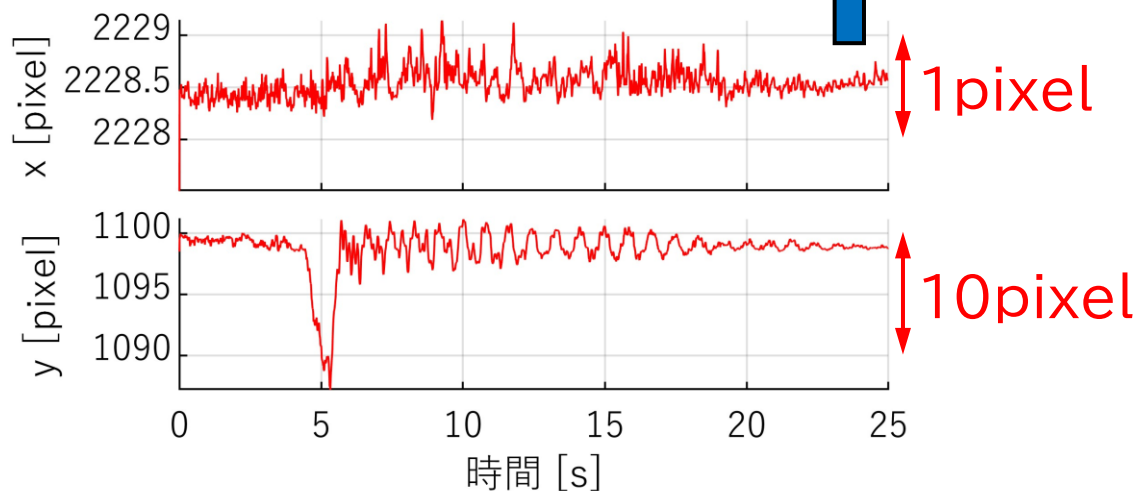
Railway Technical Research Institute



Z方向の時刻歴波形
に差異が見られる

Z方向
x成分の影響比率が大きい
→ 振動が小さく、S/Nが悪い傾向
= 風によるカメラの揺れの影響大

各画像座標上の振動データ



本発表では、ステレオカメラによる電車線設備の3次元振動の測定手法の概要及び検証試験の結果を示した。

[測定手順]

- ①内部パラメータの事前校正
- ②カメラ設置
- ③外部パラメータの校正
- ④測定対象物の動画撮影, デジタル画像相関法による画像上でのターゲットの追跡
- ⑤三角測量法による3次元位置の導出

[検証試験1-1] 内部パラメータの校正

複数の角度条件の校正板を大きく映した画像を与えると推定精度が向上する。

[検証試験1-2] 外部パラメータの校正

10 m以下の距離条件下でカメラ～校正板間の距離を約1%の誤差で推定できた。

[検証試験2-1] 疑似ランダム波加振条件での測定

ハンガ金具の変位を測定し、20 Hz未満の周波数範囲での測定の妥当性を確認した。

[検証試験2-2] 実設備への適用

パンタグラフ通過時のハンガ金具の変位を測定した。測定誤差は次の通りだった。

- ・最大押上量： 7.8 %以下
- ・線路直角方向の残留振動の標準偏差： 0.2 mm以下（強風時除く）

本手法によって電車線金具の3次元振動を実用的な精度で測定可能である。

- 架線や電柱のシミュレーションモデル作成用途での現地データ取得
- 架線や電柱の振動に関する現地調査

参考文献

- 臼田隆之, 池田充, 山下義隆, 源導士: 営業線におけるパンタグラフ接触力の地上モニタリング, 鉄道総研報告, Vol.24, No.2, pp.29-34, 2010
- 臼田隆之: 研究開発七つ道具, No.23「超異方倍率レンズ」, RRR, Vol.71, No.3, p.43, 2014
- 保木本晟也, 松岡弘大: 反射シールを利用した在来線橋りょうの桁たわみの夜間画像計測, 鉄道総研報告, Vol.38, No.11, pp.55-61, 2024
- 長尾恭平: ステレオカメラによる3次元電車線振動測定, 鉄道総研, 電力ニュース, 2025年1月号, 2025