

屋根上検査業務の効率化に向けた 画像取得・SfM解析技術の開発

技術開発期間：令和6～7年度

2026年5月25日

技術開発者名
中央復建コンサルタンツ株式会社

1. 背景

■ ニーズ

3年間の鉄道DX協議会での議論を通じ、**目視を主体とする「列車検査」について、省人化を可能とするシステムは複数の鉄道事業者の共通ニーズであることを確認。**

- 鉄道事業者の列車検査業務は、数日から10日に1回の頻度で実施する労働集約型の業務であり、車外からの目視点検が検査項目の大きなウエイトを占める。
- 労働力不足等を背景として、列車検査の効率化は大きな課題。

- コロナによる収益の悪化、人材不足、労働環境の改善、技術伝承

人がいない。来ない。



- 各社とも様々な鉄道DXの取り組みを推進（共通ニーズの確認）



- 事業者単独での取り組みには限界あり



- 共通ニーズに対するソリューションの共通化の可能性

分野ごとの取組状況やニーズのまとめ表

凡例

- 実証試験等、取組中・検討中
- 関心あり

| 各鉄道事業者のニーズ | | 取組中・検討中または関心のある鉄道事業者の数 | | | | | | | | |
|------------|---|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 土木 | 橋梁支承部の点検のドローン活用 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | トンネル部の点検のドローン活用 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 高所等の立ち入りにくい箇所の点検のドローン活用 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 軌道 | ドローンを活用した軌道の巡視（バラスト劣化・振動など） | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 車載カメラ映像による軌道巡視の前方監視（山間部の樹木等、バラスト劣化、AIでの落下物検知） | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 保守作業時の列車接近情報 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 車両 | 車両検査のデジタル化 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 列車検査の画像、映像による異常のAI判定 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | パンタグラフのすり板摩耗の検知 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 異音検知（台車、加速度計） | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 車両モニタリングデータの取得（常時監視） | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 駅務 | カメラによる車内監視 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 白杖者・車いす利用者の察知 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 電気 | 軌道転落者検知 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | ドローン・車載カメラを活用した電車線点検業務 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 鋼索線の無人運転化（車掌の無人化） | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| その他 | 踏切内の立ち入りの確認 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 新入社員の確保 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |

■ 画像やAI等を用いた列車検査システムの全体イメージについて

1. システムの目的

- 画像やAI等を用いた列車検査の効率化・省人化、作業環境の改善・安全性向上

2. 列車検査の実態

| | 鉄道事業者A | 鉄道事業者B |
|-----------|-------------|------------|
| 列車検査の点検項目 | 145項目 | 46項目 |
| 目視のみによる項目 | 100項目 (69%) | 20項目 (43%) |
| 車外 | 82項目 (57%) | 12項目 (26%) |
| 車内 | 18項目 (12%) | 8項目 (17%) |

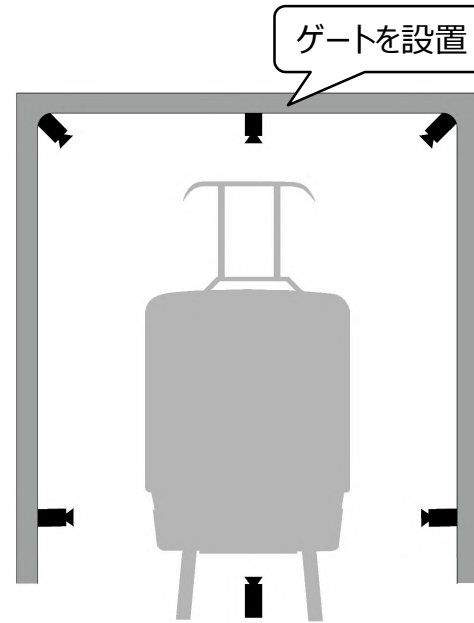
ここがターゲット！

3. 画像やAI等を用いた列車検査システムのイメージ

- **車外目視項目に着目**し、車両の全方位からの画像等を活用
- 理想とするシステムのイメージ
 - 車両が低速で通過する箇所にゲート等を設置（車庫内、入出庫線等）
 - 車両の全方位から複数のカメラ等で撮影、状況把握
- システムの機能と運用のレベル感
 - STEP 1：画像伝送による遠隔点検
 - STEP 2：画像解析技術、AI等の活用による自動化

5. 先行着手対象

- 段階的にシステムの高度化を図る
- **先行着手対象**
 - **屋根上、パンタグラフ（作業の負担が大きい、危険性高い）**

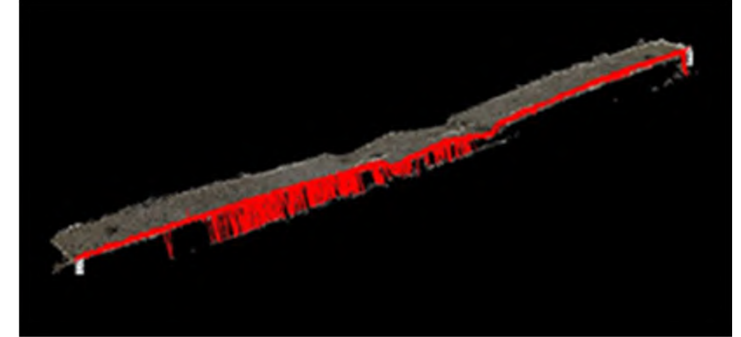


全方位画像等の取得のイメージ

2. 開発内容

○画像解析技術

- ・**模様投影型SfM-MVSによる画像解析**によって、パンタグラフすり板の摩耗検知、屋根上の異常検知を行う。



○技術開発における検証等事項

(1) 画像・AIを用いた列車検査システムの撮影条件・制約の要件定義

- ・列車検査システムの撮影条件の整理
- ・各社が採用するパンタグラフの種類、列車への取り付け方法の違い等を踏まえた、自動識別の可能性等の討議

(2) パンタグラフのすり板摩耗確認のための撮影環境の構築

- ・列車検査システムの撮影条件・制約を考慮した撮影環境を大学研究室にて試作
- ・**グローバルシャッター方式のカメラ複数台を設置**し、パンタグラフ通過時をトリガーとして撮影可能な仕組みの構築可能性検討
- ・現場試行結果の分析、高性能化のために撮影システムの再調整

(3) 模様投影型SfM-MVSを用いたパンタグラフの点群データ生成の試行・高度化

- ・大学研究室にて試作した撮影環境にてパンタグラフを移動させて撮影、その結果を用いてSfM処理し、点群データを生成可能であるかを評価。併せて、大学保有の投影技術を活用することによる高精度化の可能性も評価
- ・現場試行結果の分析、課題点を解消した高精度化手法の検討

2. 開発内容

(4) パンタグラフの計測結果を用いたすり板摩耗の状態の判定アルゴリズムの試作

- ・大学研究室にて試作した撮影環境にて撮影した画像およびSfMにて生成した点群データを活用して、パンタグラフのすり板摩耗の状態を把握するアルゴリズムを試作

(5) 現場試行

- ・大学研究室にて構築した撮影環境を現場にて再現し、本研究成果の現場適用の可能性を評価
- ・現場試行結果の分析、課題点を解消した高精度化手法の検討

(6) 実装システム（プロトタイプ）の構築

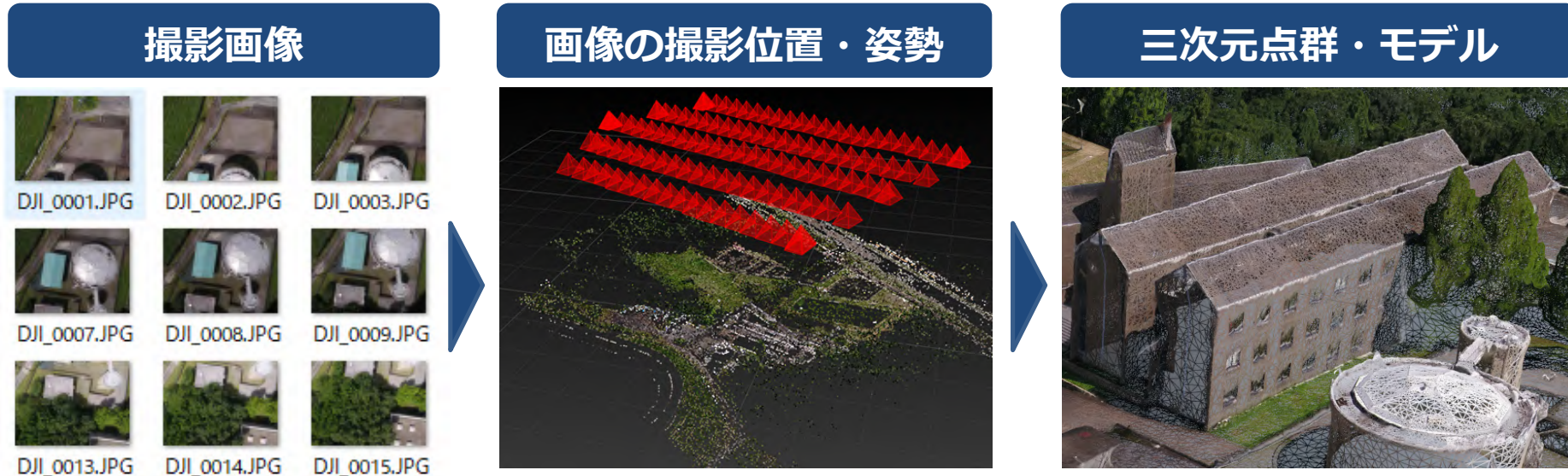
- ・試行結果を考慮した実装システム（プロトタイプ）の構築
- ・SfM処理の外部ソフトウェアの活用可能性の検討

(7) 運用ガイドラインの検討

- ・要求性能のとりまとめ、現場適用のための条件の整理

Structure from Motion (SfM)

オーバーラップを持って撮影された多視点の画像をもとに、画像の撮影位置・姿勢と対象物の三次元形状を復元する技術



・特徴

- 取得されるデータの精度・密度は画像解像度に依存するが、条件が良いとレーザ計測と同等以上の精度・密度の点群を得られる
- レーザ計測より安価であるケースが多い
- 対象物の角や辺など、明瞭な箇所（特徴のある箇所）のデータを取得しやすい など

■ 複数台カメラを用いたシステム構成

■ 複数台カメラを用いたシステム構成

模様投影型SfM-MVS解析が可能な画像を取得するには、複数台カメラ画像を同一タイミングで取得することが必要になる。また、低速で移動する車両のパンタグラフを撮影するため、画像の動き歪を抑える必要がある。そのため、本検証では以下の機器を採用した。

- ・ 高精細HDグローバルシャッターカメラの採用

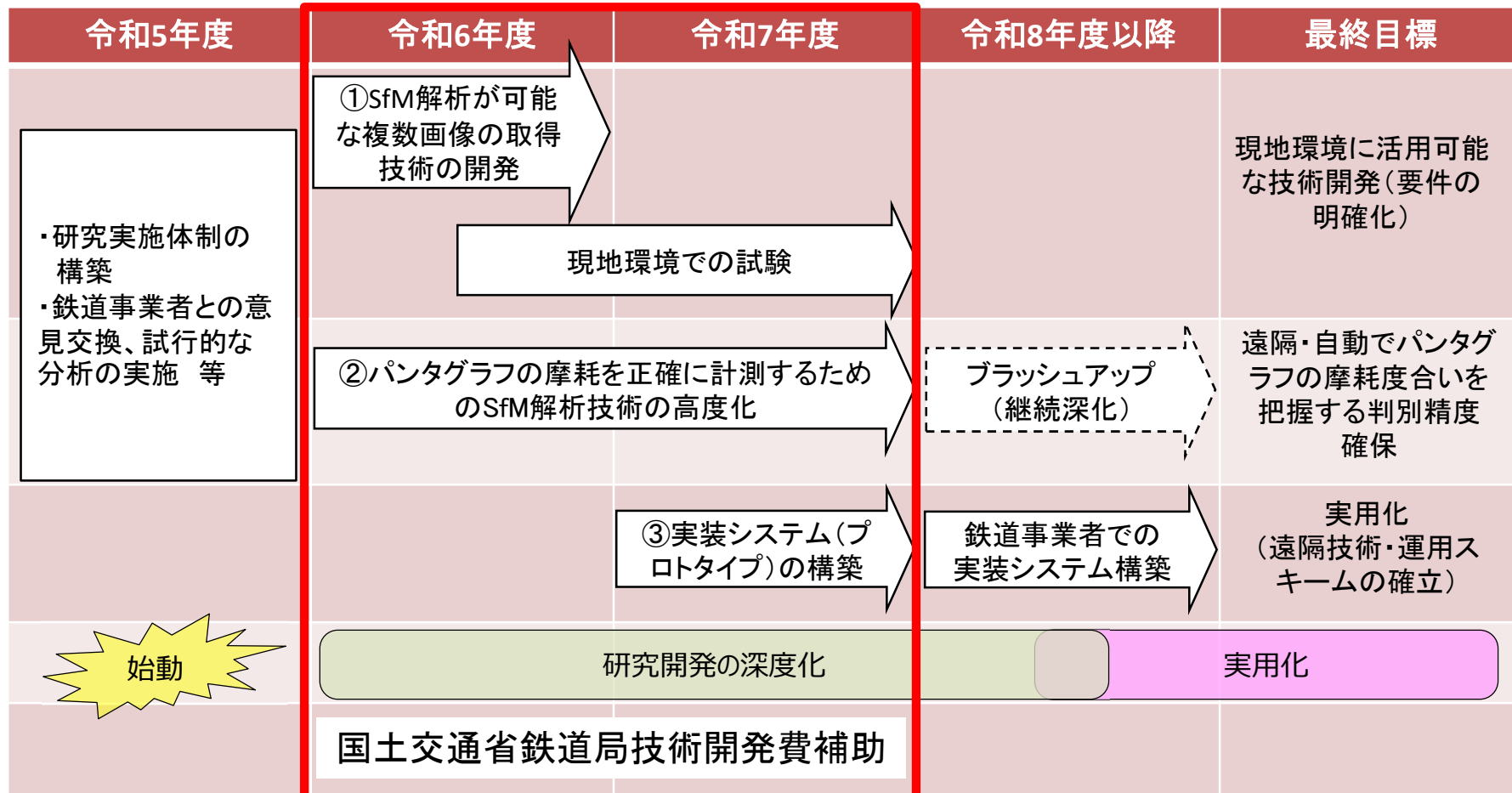


- ・ 外部トリガによる同一タイミングでの画像取得の採用
外部トリガの連続生成でパンタグラフの複数画像を取得
カメラ台数やレンズは検証内容により変更



■開発工程

- ・令和5年度：研究開発に着手
- ・**令和6年度：模様投影型SfM-MVS解析が可能な複数画像の取得技術の開発、解析技術の高度化**
- ・**令和7年度：現地環境での試験、模様投影型SfM-MVS解析技術の高度化、実装システム（プロトタイプ）の構築**
- ・令和8年度以降：鉄道事業者での実装システム構築を目指す



■ 技術開発の推進

- ・中央復建コンサルタンツ株式会社
- ・法政大学
- ・アジア航測株式会社
- ・三菱電機エンジニアリング株式会社

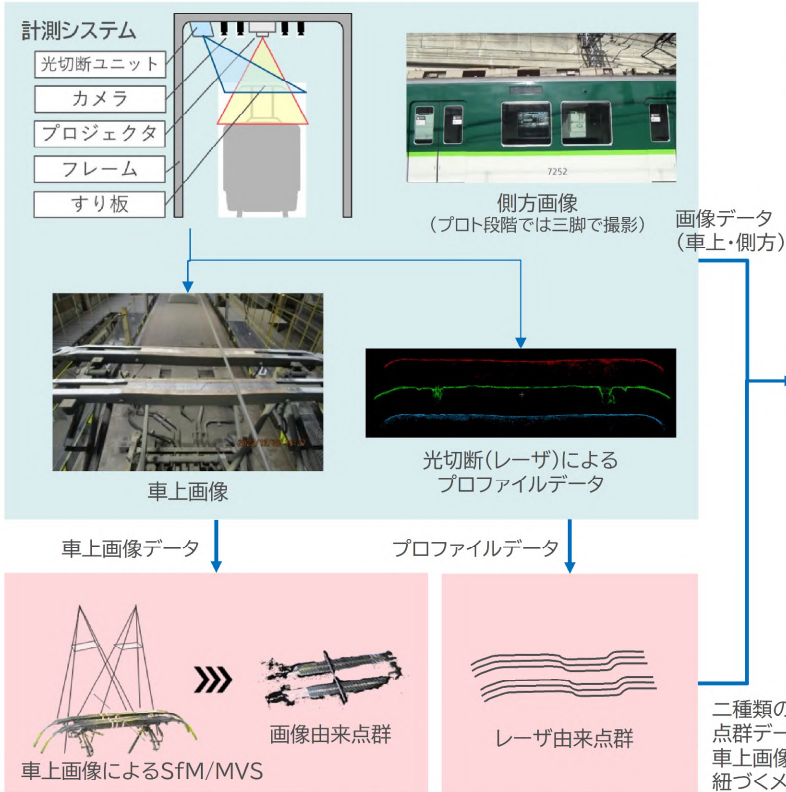
■ 協力(現場環境の提供等)

- ・京阪電気鉄道株式会社

■ プロトタイプ開発の全体像

プロトタイプ開発の全体像

計測(現地実験)

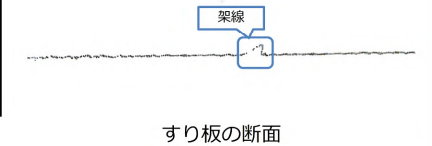
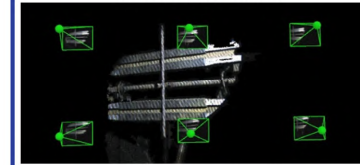
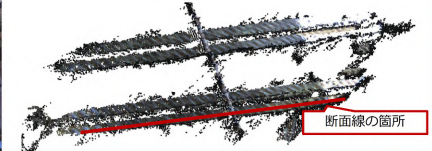
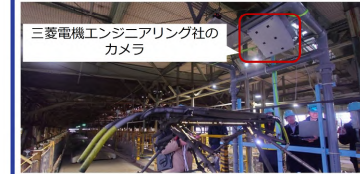


点群生成(プロト段階では手動・半自動)・整理

計測したデータ

12/12

4. 三菱電機エンジニアリング社のカメラで撮影した画像を用いたSfMの点群データ
静止状態のパンタグラフを撮影した画像を用いてSfMを実施し点群データを生成

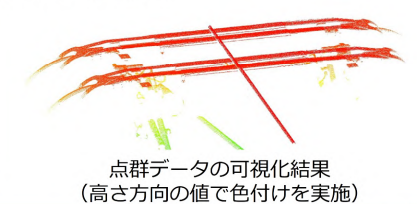
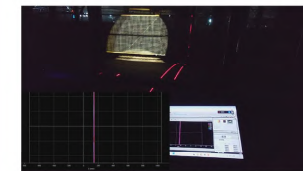


計測したデータ

10/12

3. レーザプロファイラで計測したパンタグラフの点群データ

Gocator2180を2台用いてパンタグラフを計測
すり板全体の点群データの計測に成功



■ 現地実証試験環境

京阪電鉄寝屋川車庫

夜間投影実験

4/37

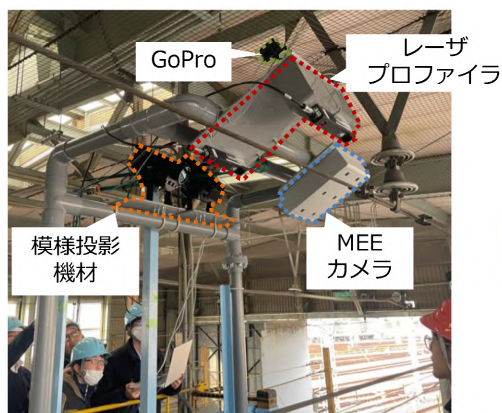
実験概要

摩耗度合の異なる2種類のパンタグラフのすり板を対象とした実験

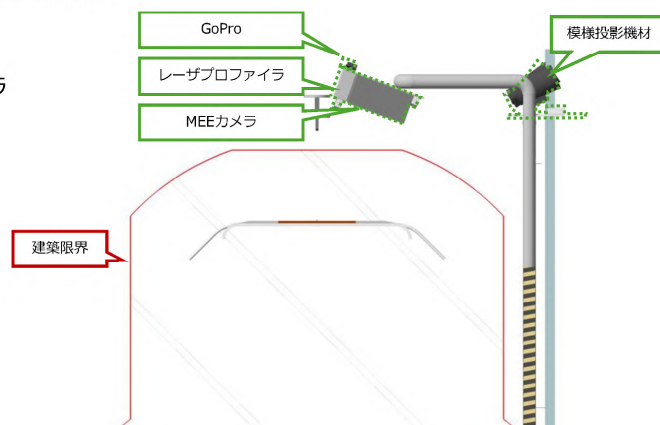
- 摩耗したすり板を装備した電車が**5km/h**、**10km/h**で走行

以下の機材を用いた撮影または計測を実施

1. 三菱電機エンジニアリング社のカメラ（以下、「MEEカメラ」とする。）を6台用いて撮影された時刻同期済みの画像
2. レーザプロファイラで計測された点群
3. GoProを用いた電車の屋根上の動画像
4. BLK360で計測した現場の環境の点群



計測機材を固定した様子



建築限界と機材の位置関係

© Copyright Hosei University



■ 検知精度について

模様投影型SfM-MVSの場合

26/37

■ まとめ

自動でスケールを調整する手法

- 新品の場合に0.6mm、摩耗の場合に0.5mmの精度で摩耗量の推定に成功
 - ▶ パンタグラフの形状に依存する推定アルゴリズムのため汎用性は低い
- 位置合わせの際に進行方向にパンタグラフが傾く現象を確認
 - ▶ 進行方向の傾きを補正可能なアルゴリズムの考案が必要

正しいスケールの点群を生成する手法

- 新品・摩耗ともに0.8mmの精度で摩耗量の推定に成功
- カメラの位置推定精度が低い課題を確認
 - ▶ 他のソフトウェアでの試行や設定値のパラメトリック解析によりカメラの撮影位置の推定精度の高精度化を予定

メリット・デメリット表

| 項目 | 手法 | 自動でスケールを調整する手法 | 正しいスケールの点群を生成する手法 |
|-------|----|----------------------------------|---|
| メリット | | 高精度な点群データを生成可能な有償のソフトウェアの点群を活用可能 | 簡易な処理で構成 |
| デメリット | | パンタグラフの三次元モデルが必要 | <ul style="list-style-type: none"> オープンソースのソフトウェアを用いているためSfMのカメラの位置推定精度が低い可能性有 キャリブレーションのタイミングの調整 |

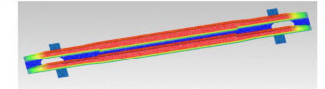
© Copyright Hosei University

模様投影型SfM-MVSの場合

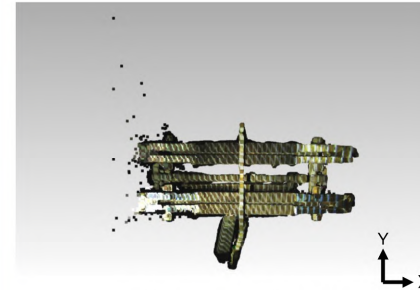
14/37

■ 自動でスケールを調整する手法

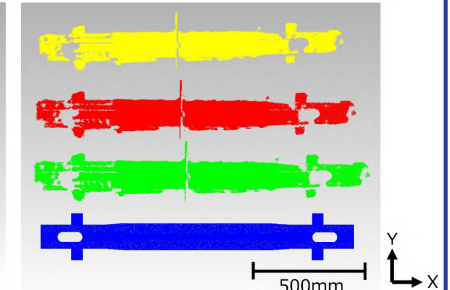
- RealityCaptureでxyz形式の点群を生成し
3回のスケール調整後に摩耗量を算出
- ▶ スケール調整にはパンタグラフの三次元モデルを活用



パンタグラフの三次元モデル
(色付け: Z軸方向での段彩図)



SfMで生成した点群



500mm
黄色: 1次スケール 赤色: 2次スケール
緑色: 3次スケール 青色: 正しいスケール

スケール調整の結果

© Copyright Hosei University

模様投影型SfM-MVSの場合

22/37

■ 正しいスケールの点群を生成する手法

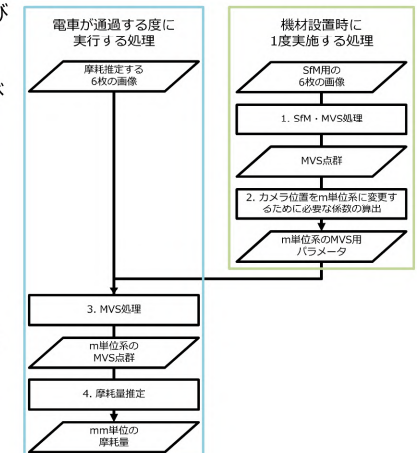
- パラメータを調整せずMVS点群およびMVS用パラメータを生成
- MVS用のパラメータ(赤字)をm単位系に変更するための係数および変更後のMVS用のパラメータを算出
- 摩耗推定する画像およびMVS用のパラメータを用いてMVSにより点群を生成
- 点群から摩耗量を推定

- | | | |
|---|---|--|
| 1. カメラの情報 カメラモデル 解像度 焦点距離 画像の中心座標 歪み係数 | 2. カメラの位置 画像ID ファイル名 回転角 座標 画像の特徴点 | 3. SfM点群 点の座標 RGB値 誤差情報 トラック情報 |
|---|---|--|

MVS用パラメータ

- スケールの倍率
- カメラの回転角 (Roll・pitch・Yaw)
- 平行移動量 (tx・ty・tz)

入力情報一覧



処理フロー

© Copyright Hosei University

■ システムの画面構成

システムの画面構成

トップページ

解析結果が、日付の降順で全て表示される。表の各行をクリックすると、その結果の閲覧画面へ遷移する。すべての画面から、このトップページ画面へ遷移可能である。

点検一覧

解析結果の条件絞り込み

点検日時: 2026-03-21 00:00:00

検索: [すべて]

点検種別: SIM レーザプロファイラ

| 車両番号 | 日付 | 点検結果 | 状態 | 削除 |
|-------|---------------------|------|----|----|
| 13176 | 2026-03-21 00:00:00 | | 異常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-21 00:00:00 | | 異常 | 削除 |
| 13176 | 2026-03-20 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13076 | 2026-03-20 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-20 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-19 00:00:00 | | 異常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-16 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13176 | 2026-03-16 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-14 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13176 | 2026-03-13 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13076 | 2026-03-13 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-13 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13176 | 2026-03-12 00:00:00 | | 正常 | 削除 |
| 13026 | 2026-03-12 00:00:00 | | 正常 | 削除 |

アジア航測株式会社

システムの画面構成

解析画面

選択した日付と車両番号の、パンタグラフの画像と、摩耗量が確認できる。この画面から、動画の再生やヒートマップとグラフを表示する画面などへ遷移できる。

車両番号: 6009

点検日時: 2026-01-14 18:33:00

点検種別: SIM レーザプロファイラ

パンタグラフ写真

ヒートマップとグラフ

動画

日付を選択して閲覧画面の移動も可能

高線の磨り板と、結果の磨り板Noの対応

磨り板状態

- No.1 0.54 mm
- No.2 0.15 mm
- No.3 0.52 mm
- No.4 0.18 mm

凡例: ● 正常 ● 注意 ● 異常

磨り板Noごとの摩耗量と、その摩耗量に対応したカラーステータス表示

カラーステータスの説明。設定した摩耗量の閾値ごとに色が変わる。

アジア航測株式会社

システムの画面構成

解析画面-ヒートマップとグラフ画面(ヒートマップ部分)

選択した日付と車両番号の、各すり板の摩耗量と、断面図とヒートマップを確認できる。画面をスクロールすると、磨り板No.1, 2.,と下に続く。その下に、グラフ(次スライド参照)が続いて表示される。

車両番号: 13176

点検日時: 2026-03-05 17:43:00

点検種別: SIM レーザプロファイラ

磨り板No.1 摩耗量: 0.00 mm

断面図

断面図

ヒートマップ

磨り板No.2 摩耗量: 4.88 mm

断面図

断面図

ヒートマップ

アジア航測株式会社

システムの画面構成

解析画面-ヒートマップとグラフ画面(グラフ部分)

表示しているデータの過去3か月の結果を、グラフで表示する。摩耗量の変化を時系列で視覚的に確認できる。

直近3ヶ月の摩耗量推移

磨り板No.1 磨り板No.2 磨り板No.3 磨り板No.4

摩耗量 (mm)

日付

Mar 5, 2026, 17:46

- 磨り板No.1: 5.415781
- 磨り板No.2: 5.33
- 磨り板No.3: 5.173935
- 磨り板No.4: 5.542

注意 (3.0 mm)

異常 (5.0 mm)

データにマウスカーソルを合わせると、摩耗量が表示される。

アジア航測株式会社

基本方針

1. 側方動画に写る列車のパーツ(パンタグラフ・車両番号・列車先頭部・車両連結部)を検出する
SSDモデルを作成する
2. 作成したモデルを用いて側方動画に対してSSDを用いた物体検出を行う
3. 検出された物体について、時間的、空間的情報を用いて並べ替え、車両編成を構築する
4. SSDで車両番号部分が検出された場合にその部分でOCRを行い、車両番号を特定する
5. 以上の情報を用いて、車両編成の情報を作成する



車両編成分析結果(例)

時刻: 2025/3/5, 13:08

編成: 8両

車両番号: 7124, 7981, 7068, 7069, 7231, 7346, 7252, 7816

パンタグラフ: 7981, 7252

3. 研究開発の成果と特徴

研究開発の成果

■パンタグラフのすり板摩耗確認のための撮影環境の構築

- ・必要となる撮影環境について検討し、環境構築のうえ実証実験を実施
 - 撮影距離、明るさ等、精度の確保が可能となる撮影環境の構築に成功
 - パンタグラフ通過をトリガーとした映像撮影環境の構築に成功

■模様投影型SfM-MVSを用いたパンタグラフの点群データ生成の試行・高度化等

- ・列車走行時(5km/h、10km/h)のパンタグラフの計測実施
 - 模様投影型SfM-MVS:自動スケール調整の場合:新品0.6mm、摩耗0.5mmの精度
正しいスケールの点群を生成する方法:新品・摩耗ともに0.8mmの精度
 - いずれも、実用に資する精度での計測に成功

※レーザプロファイラ:新品0.4mm、摩耗0.9mmの精度 (摩耗はゲイン値の設定で改善を確認)

■実装システム(プロトタイプ)の検討・構築

- ・動画データからパンタグラフの検出静止画像の自動抽出及び撮影された画像の閲覧、選択可能とするシステム(分析エンジン、閲覧システム)のプロトタイプ開発
 - ソフトウェアのプロトタイプを構築、実運用を想定し、鉄道事業者との意見交換を通じてユーザインターフェイスを改善

■取得データ分析、運用ガイドラインの策定(現場試行含む)

- 模様投影型SfM-MVSで実用に耐えうる精度が確保できることを確認(レーザプロファイラでも精度の確保を確認)
- 計測精度、処理プロセス、処理時間、コスト等を考慮し、実用化システムとしての最適な方法、組み合わせを今後検討

3. 研究開発の成果と特徴

■ 本研究開発の特徴

- ① **「検知精度」と「導入コスト」のバランス**を踏まえ、できる限り低廉なカメラ等を用いることで**導入コストの低廉化**の可能性。
 - 計測したその回の絶対値だけでなく、計測履歴データも活用し、検知精度のみに依存しない実用的な方法を提案
- ② **映像を撮影・活用**することで、映像を係員が目視確認し、遠隔の点検を行うステップにも対応可能
 - 検査業務効率化に係る移行ステップにも対応可能なシステム
- ③画像等を用いた列車検査の効率化に資するシステムを構成する一要素として、将来的な発展系を視野に入れた開発
 - 業務効率化だけでなく、労働環境の改善（物理的な作業負荷の軽減、作業員の安全性の向上）、等の効果も期待