

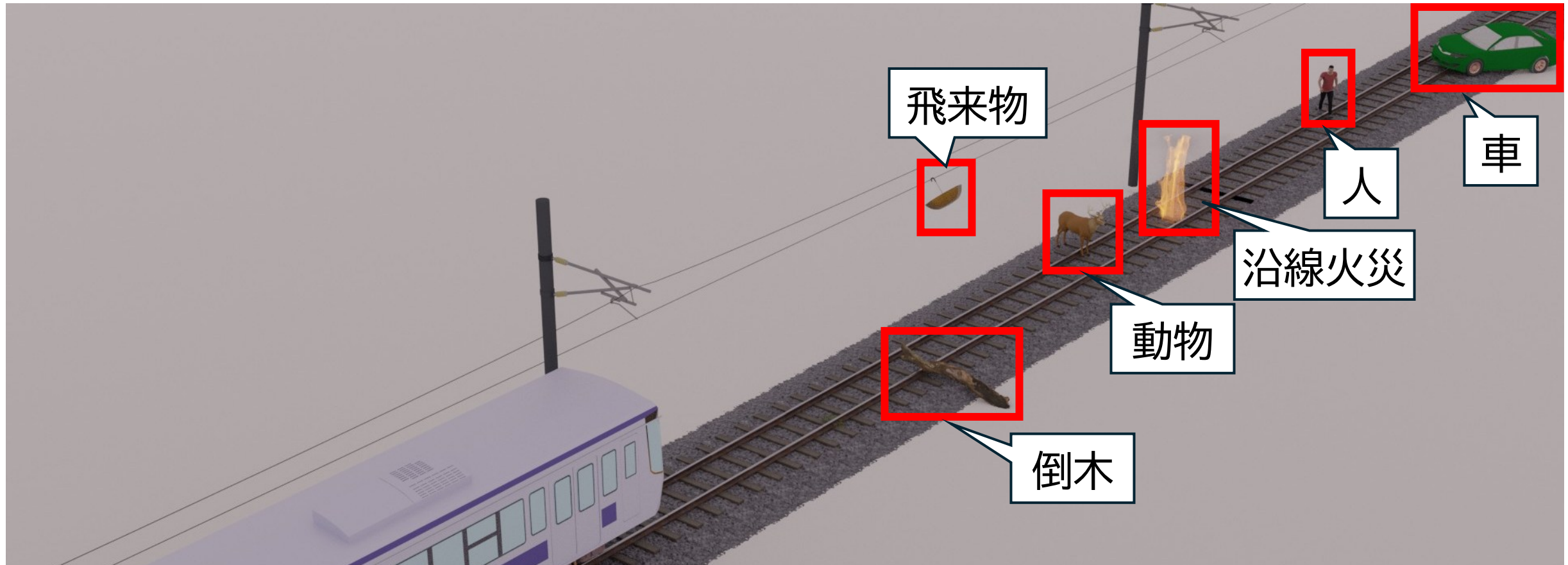
線路内異常検知のための 列車前方監視システムの開発

情報通信技術研究部 画像解析研究室
副主任研究員 向嶋 宏記

- 研究背景と目的
- 列車前方監視システムについて
- 評価試験および結果
- まとめ

研究背景と目的

目的 列車前方監視システムの構成検討および検知性能の把握



運転支援/将来的な自動運転のための検知システムの確立を目指す

列車前方監視のためのセンサ構成

■ 検知対象の整理と各支障物の検知に必要なセンサ構成を定義

線路内支障物に起因する輸送障害の現状把握
(国交省資料/SNSの運行情報をもとに分析)

主な輸送障害の要因

- ① 人、動物など線路内に侵入する移動体
- ② 車、落石、倒木など線路をまたぐ支障物
- ③ 沿線火災・発煙などの高温物体
- ④ 架線への飛来物・付着物(電化区間のみ)

各支障物の検知に適したセンサの一覧

対象	センサ種別				
	可視光カメラ	赤外線カメラ	ステレオカメラ	LiDAR	ミリ波レーダー
①	◎	○	○	○	○
②			○	◎	○
③	○	◎			
④			○	◎	○

※可視光カメラはAIによる物体検出の前提

カメラ(可視光・赤外線)とLiDARの組み合わせが最も有効

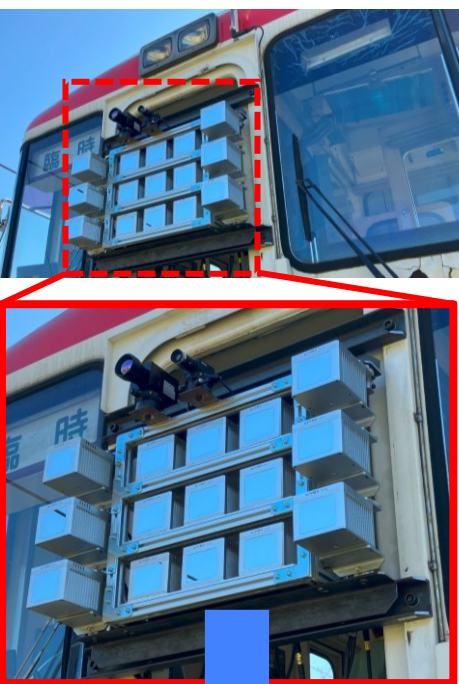
検知対象の特徴や条件から検知するために必要なセンサ構成を定義

カメラとLiDARによる列車前方監視システム

Railway Technical Research Institute

センサ部

列車の前面に搭載



処理部

①検知範囲設定

線路領域を推定して建築限界に拡張

②フレームごとの物体検知

特定物体検知(可視光カメラ)

物体の大きさ、種別、信頼度を推定

立体物検知(LiDAR)

レール面より上の物体を抽出

高温物体検知(遠赤外線カメラ)

一定温度を超える領域を抽出

③検知範囲の内外判定

検知対象と検知範囲の内外
検知範囲外の対象の侵入可能性を判定

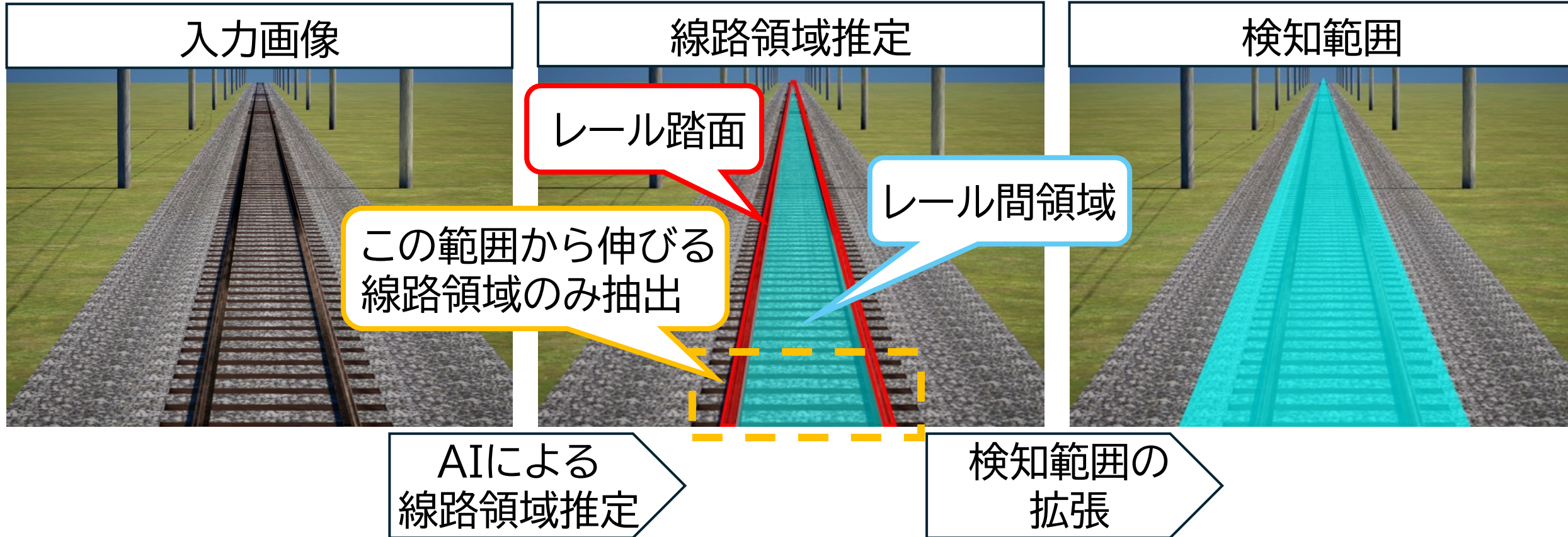
④検知結果の確定処理

過去の複数フレーム中一定以上のフレームで検知ならば検知を確定

線路領域の判定と複数のセンサー情報を統合して判定

レール情報を用いた検知範囲の設定

- 線路領域はセマンティックセグメンテーションを用いて抽出
➡ 画像中の特定の領域を画素単位で分類する手法



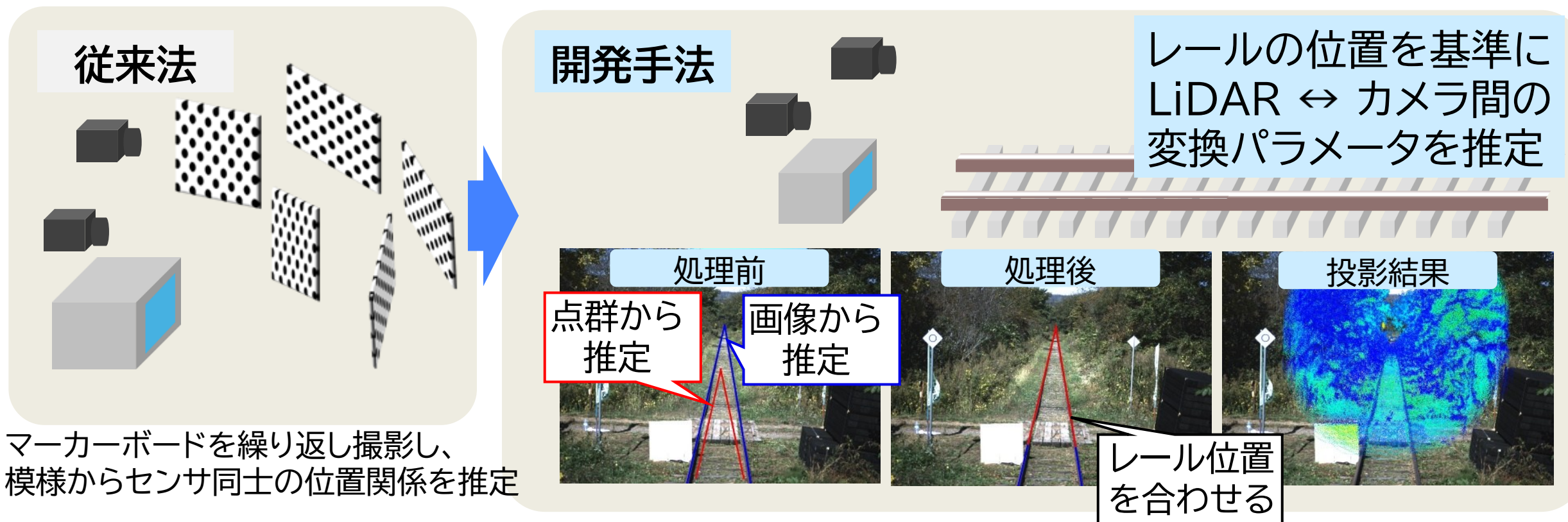
AIで抽出した線路情報を用いて建築限界幅に検知領域を拡張

レール情報を用いた複数センサデータの統合処理

Railway Technical Research Institute

■ 鉄道固有の情報を用いたキャリブレーション

- マーカーボードなどを掲げる必要がないため車上から1名で作業可能

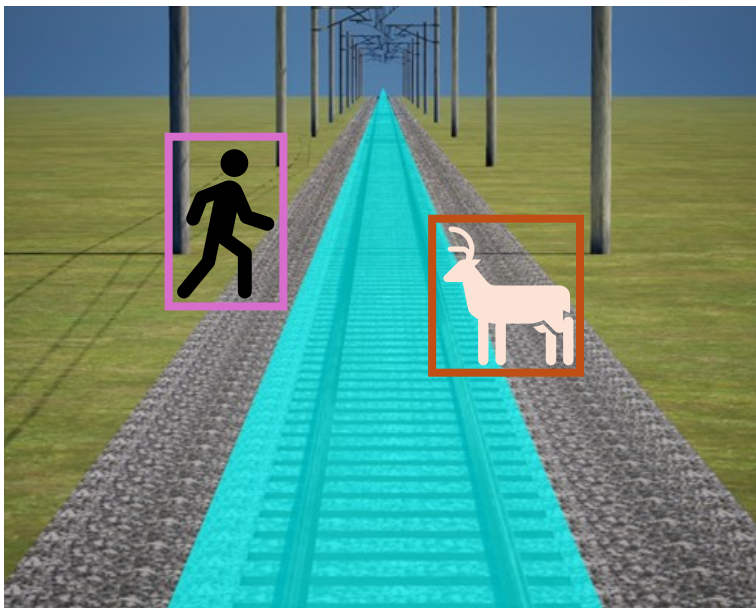


専門知識がない作業員でも作業可能なキャリブレーション手法を開発

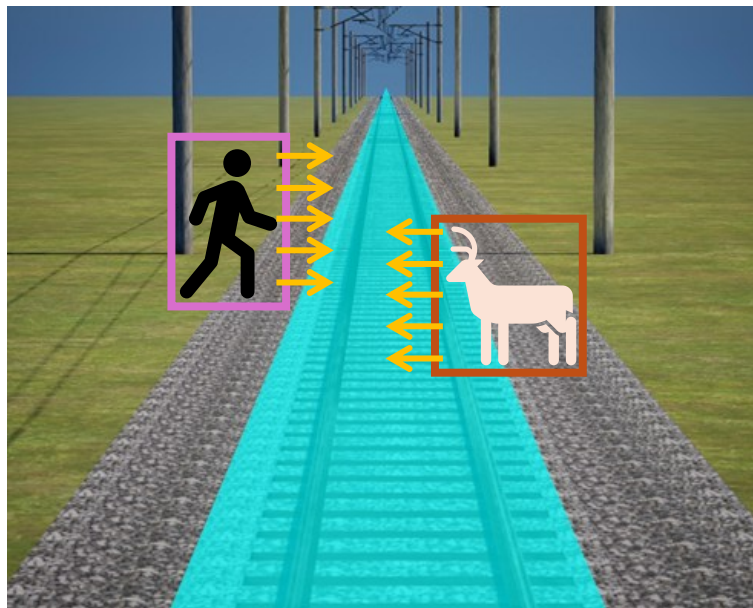
人、動物などの検知処理

- 画像に対して物体検知AIを用いて人物、動物などの特定物体を検知
 - 物体検知時に出力される矩形領域と設定した線路領域との重なりで内外を判定
 - 隣接フレーム間で物体の移動方向を推定して、侵入の兆候を推定

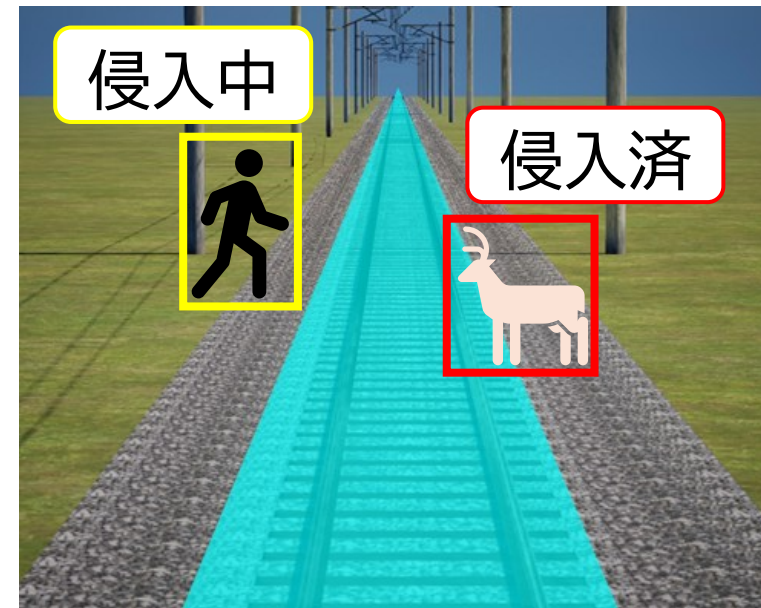
AIモデルで物体検知



物体の移動方向を推定



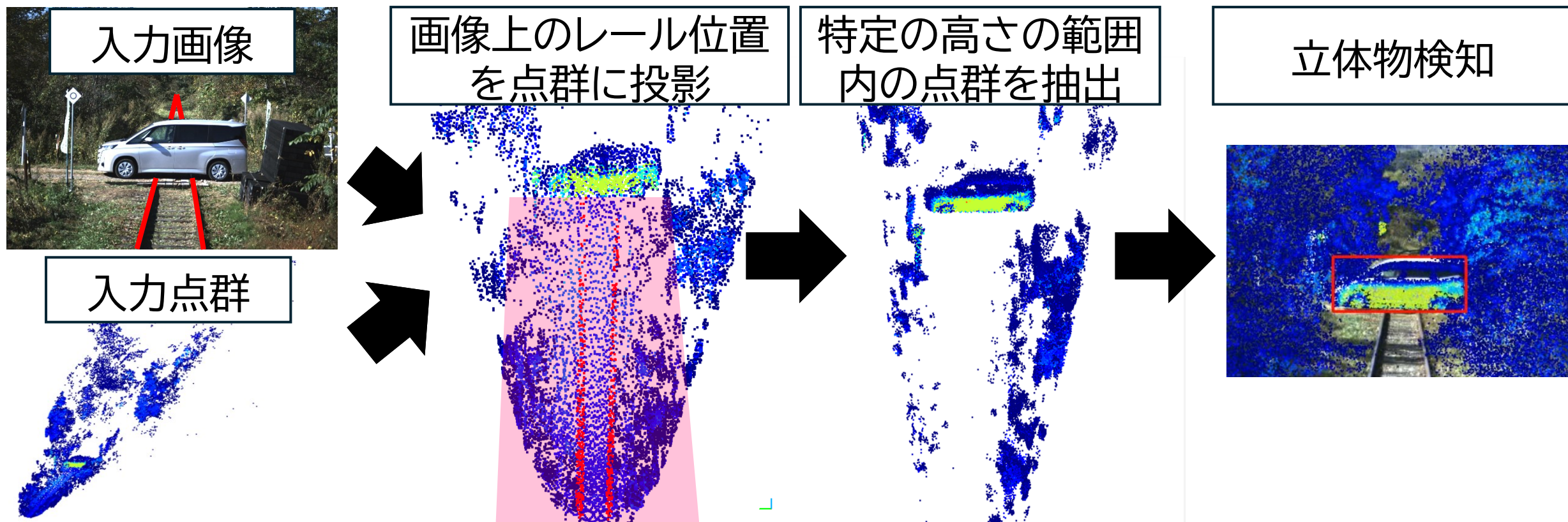
検知出力



線路内への侵入中も含めて、物体検知AIを用いて人や動物などを検知

立体物の検知手法

- LiDARで得られる点群から立体物を検出(AI未使用)
 - 飛来物などの形状の定まらない物体でも検知可能

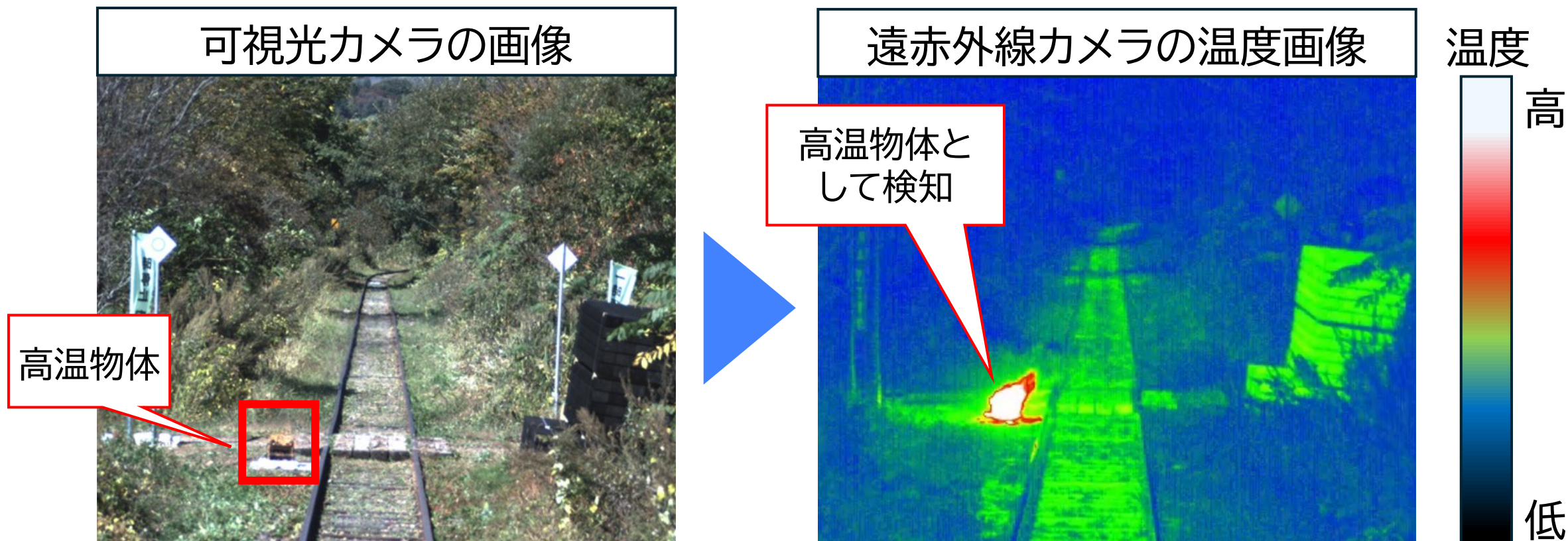


取得した点群データからレールの高さより上の立体物を検知

高温物体の検知手法

■ 温度画像から高温物体を検知(AI未使用)

- 可視光画像から抽出したレール情報との組み合わせにより沿線火災などを検知可能



取得した温度画像をもとに一定以上の温度を有する領域を抽出

本日の発表

- 研究背景と目的
- 列車前方監視システムについて
- 評価試験および結果
- まとめ

開発システムの評価試験

Railway Technical Research Institute

- 線路内に侵入する移動体、線路をまたぐ支障物を模擬して昼間に撮影試験を実施

被写体から遠ざかる
方向に繰り返し撮影

実際の仮設の様子

遠赤外線
カメラ

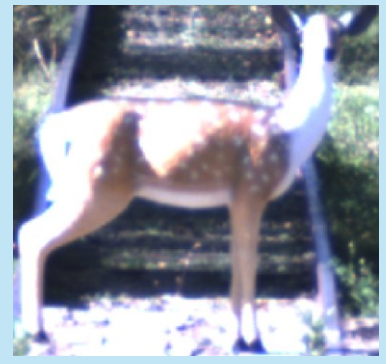
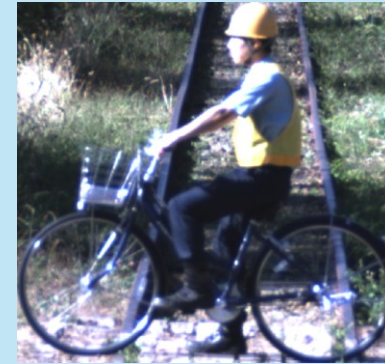
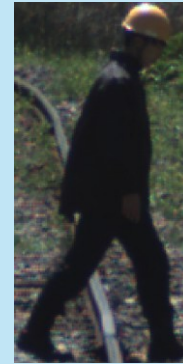
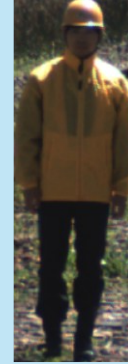
可視光カメラ

可視光カメラ

LiDAR

LiDAR

被写体の例

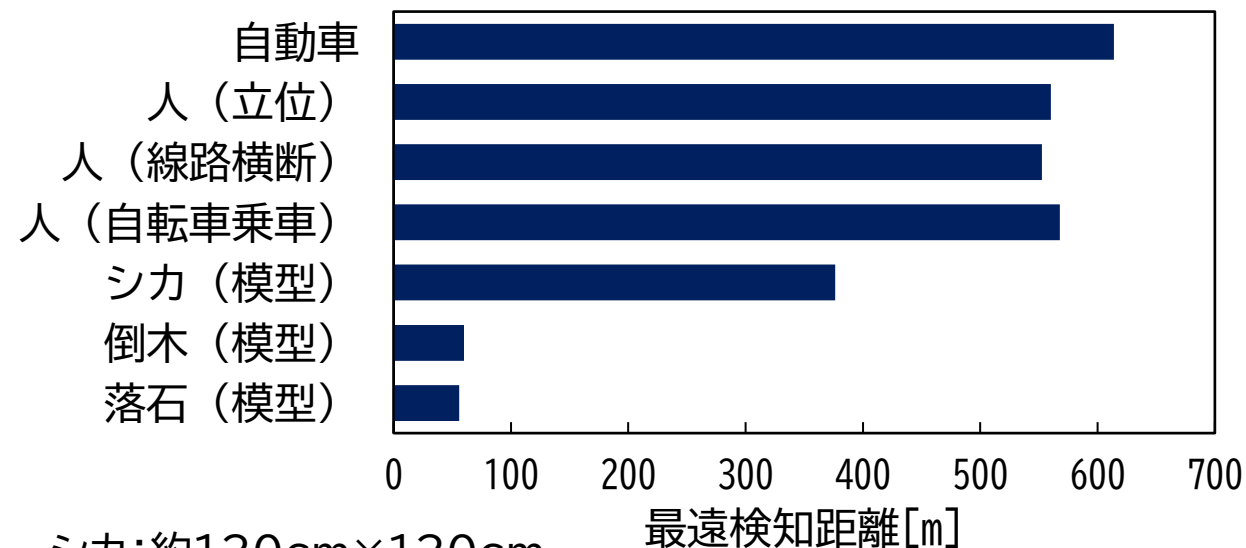


支障物に対する距離ごとの検知性能を評価するために試験を実施

開発システムの最遠検知距離

Railway Technical Research Institute

■ 昼間の各支障物に対して試番ごとの最遠検知距離を平均して検知性能を確認

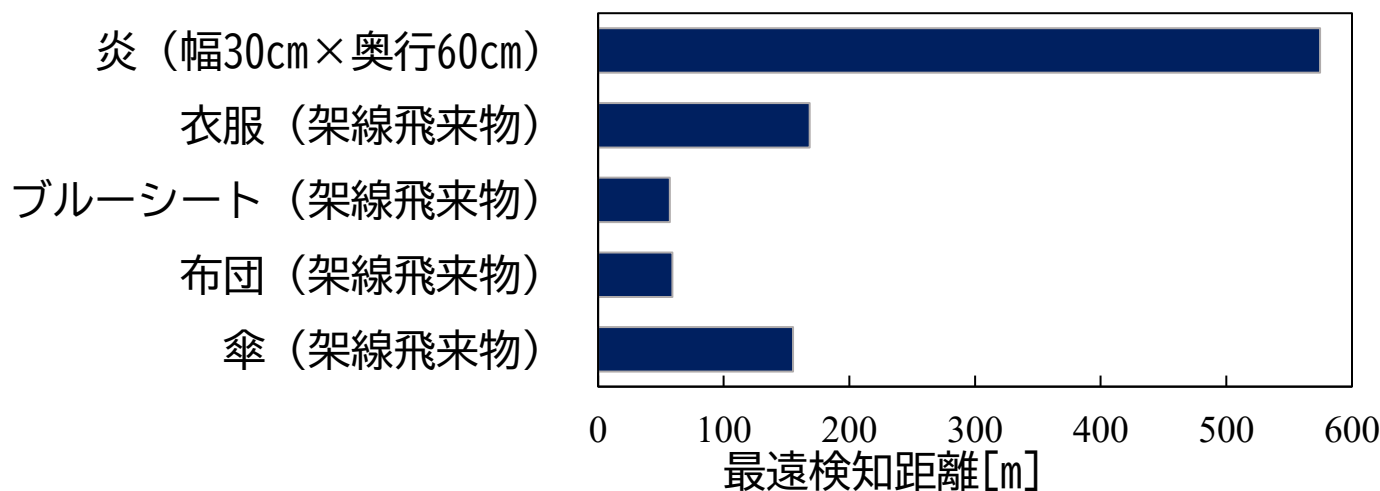


※逆再生

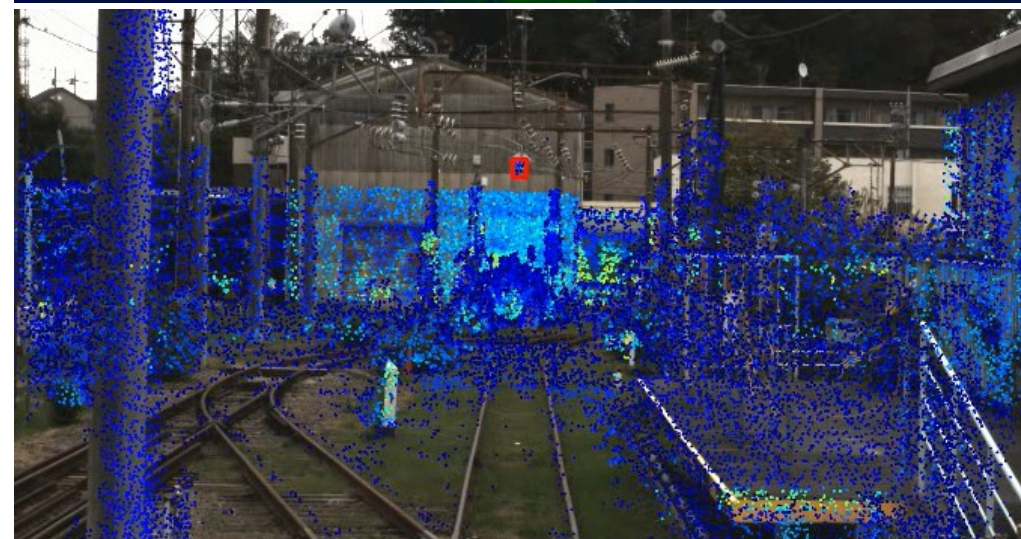
- ✓ 自動車は約600m、人は姿勢問わず約550m、シカは約350m遠方まで検知可能
- ✓ 倒木、落石は、レール面に近い高さにあり、立体物として検知するために十分な点群密度が得られなかった

開発システムの最遠検知距離

- 支障物として検知しにくい対象(火災、架線飛来物など)を含めて検知性能を確認



- ✓ 一定以上の大きさの炎は約550m遠方から検知可能
- ✓ 架線飛来物はLiDARの点群が取得できる面積によって検知距離が変化



7種類の支障物に対してシステムの最遠検知距離を把握

リアルタイム動作検証

- 車両内にセンサを仮設して営業線区でリアルタイム動作および対ノイズ検証を実施

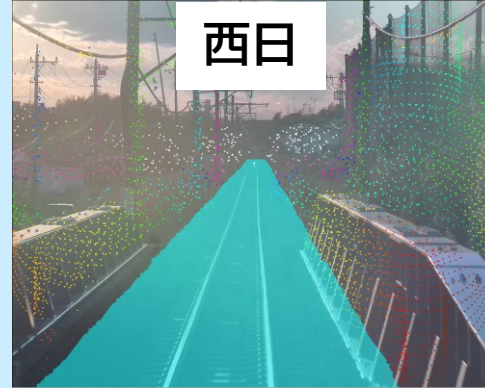
可視光カメラ

LiDAR

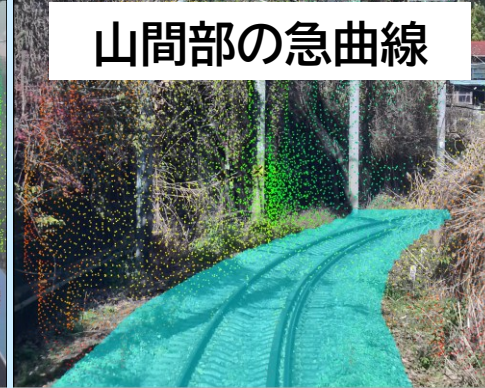


検知範囲設定結果の適用例

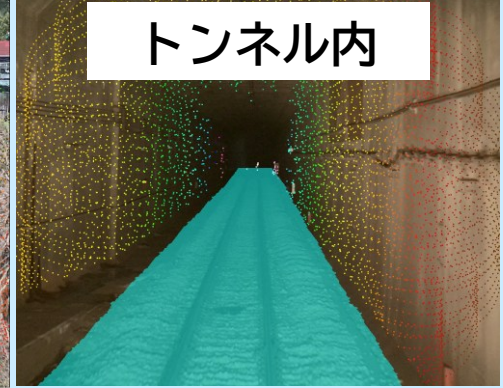
西日



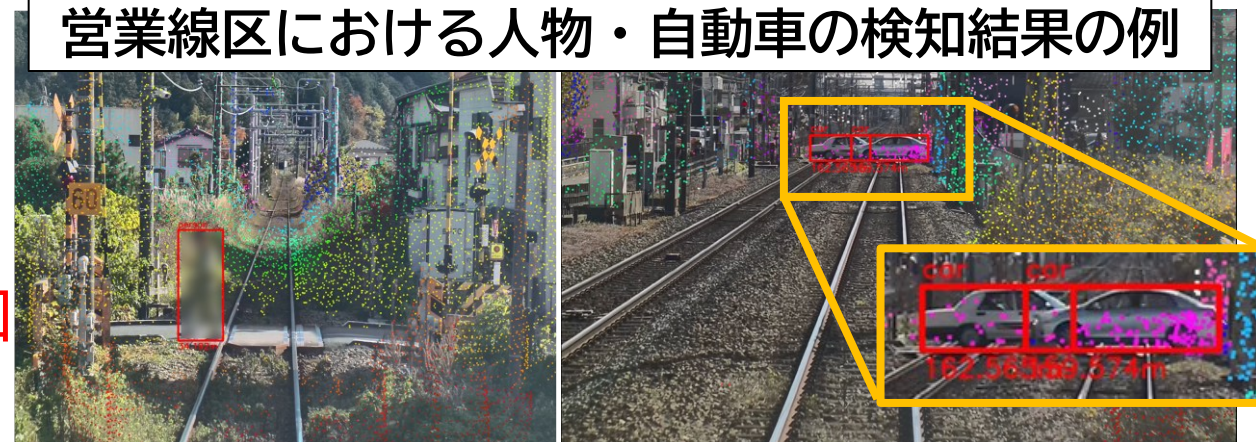
山間部の急曲線



トンネル内



営業線区における人物・自動車の検知結果の例



- ✓ 約6時間の走行で2秒以上継続して誤検知が発生するケースがゼロであることを確認

実環境でリアルタイムに動作することと誤検知の発生状況を確認

■まとめ

- ・ 線路内に発生する各種事象について調査し、それらの対象を検知するためのセンサ構成について、**設置条件も踏まえた考え方を提示**
- ・ 複数の車載センサで遠方の対象を検知するため、前方に映るレールの情報を活用した**センサデータの統合処理手法を開発**
- ・ 7種類の支障物ごとに**開発システムの最遠検知距離を把握**
- ・ 営業線のリアルタイム動作検証を実施して**約6時間の走行で2秒以上継続して誤検知が発生するケースが0件**であることを確認

■成果の活用

- ・ 将来的な乗務員支援／自動運転のセンサ構成仕様として活用

影山 棕, 長峯 望, 「列車前方監視のためのセンサフュージョンによる支障物検知手法の検討」, 電気学会論文誌D, Vol.144, No.3, pp.70—78, 2024

小井手 孝徳, 影山 棕, 長峯 望, 「列車前方監視における支障物検知のための3次元点群の適応的クラスタリング手法」, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-24-069, 2024

前田 梨帆, 影山 棕, 長峯 望, 「列車前方監視のための可視光カメラおよび遠赤外線カメラを用いた沿線火災検知手法」, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-24-093, 2024

影山 棕, 長峯 望, 「列車前方監視のための車載カメラによる建築限界範囲内への人物侵入検知手法の開発」, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-23-064, 2023