

車両床下機器外観の目視検査を 自動化する画像検査システムの開発

車両技術研究部 車両運動研究室
主任研究員 小島 崇

研究開発の背景

Railway Technical Research Institute

現在 列車検査において車両外観を目視で確認

将来 通過する列車を自動で検査

自動撮影



自動診断



NG

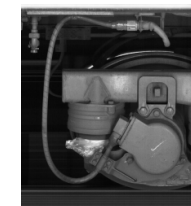
OK

要確認箇所を自動通知



検査結果を保存

要確認画像を人が検査



OK

NG



現車を検査

期待される効果

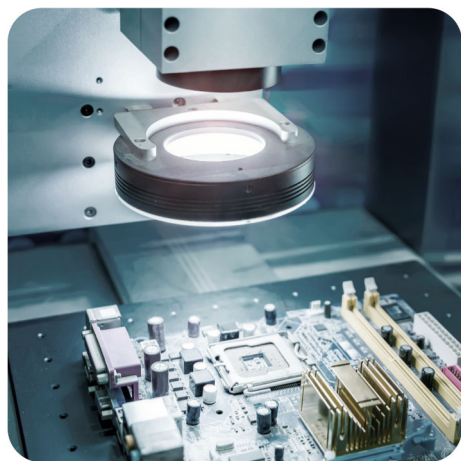
- ✓ 省人化
- ✓ 検査品質の均一化
- ✓ 不具合調査の効率化

今回の目的 在来線電車の列車検査での床下外観検査を自動で行うシステムを開発

1. 車両床下撮影装置の開発
2. 診断アルゴリズムの開発
3. 異常模擬試験
4. 診断アルゴリズムの性能評価
5. まとめ

他の画像検査との比較

一般の画像検査 (製造ライン)



同一
限定的
なし
容易

対象物
検知対象異常
外乱
(異常以外の変化)
異常品の用意
(学習・評価用)

鉄道車両外観検査

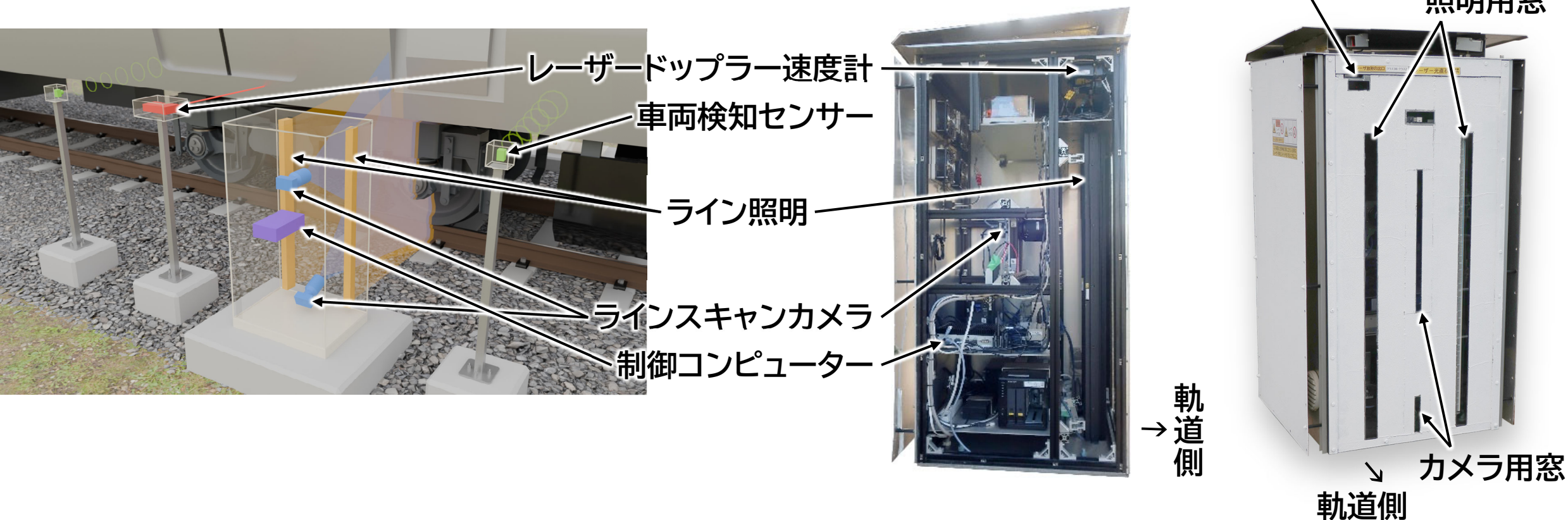
多種
様々・未知
多い
太陽光、汚れ…
困難



↓
これらはトレードオフ
同時に解決できる従来技術はない

屋外撮影可能な車両床下自動撮影装置の開発

Railway Technical Research Institute



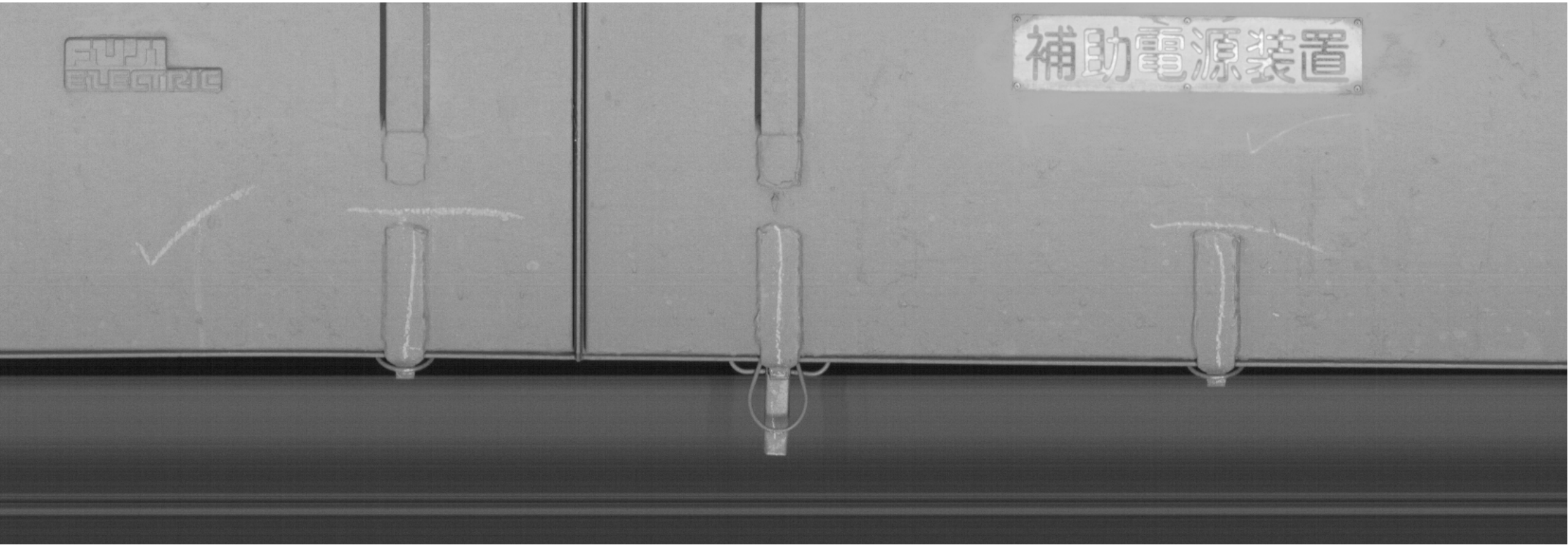
- ✓ ラインスキャンカメラにより25km/h走行車両を0.8mm/pxの高精細で連続撮影
- ✓ 高輝度ライン照明の両側斜光と輝度補正機能により昼夜とも同等の明るさで撮影

撮影画像の例



- ✓ ラインスキャンカメラにより25km/h走行車両を0.8mm/pxの高精細で連続撮影
- ✓ 高輝度ライン照明の両側斜光と輝度補正機能により昼夜とも同等の明るさで撮影

撮影画像の例

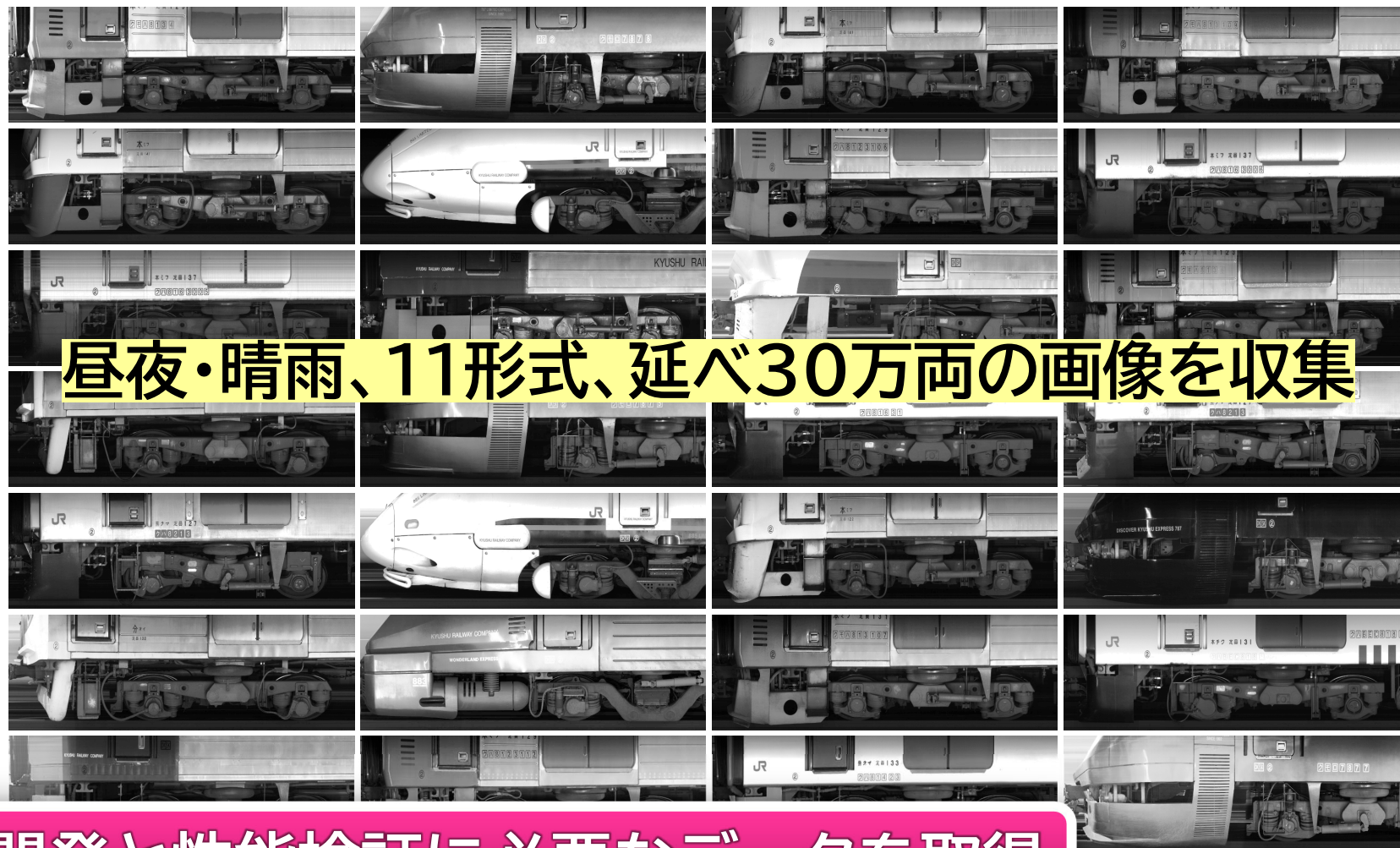


- ✓ ラインスキャンカメラにより25km/h走行車両を0.8mm/pxの高精細で連続撮影
- ✓ 高輝度ライン照明の両側斜光と輝度補正機能により昼夜とも同等の明るさで撮影

長期間の画像取得・撮影装置の評価

Railway Technical Research Institute

車両基地に半常設、1年9ヶ月間連続稼働



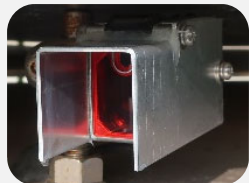
アルゴリズム開発と性能検証に必要なデータを取得

撮影装置の改良と性能検証

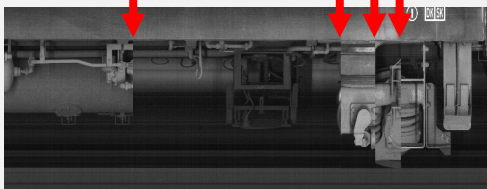
Railway Technical Research Institute

改良内容	効果
車両検知センサの角度調整(2回)	画像欠損が解消
車両検知センサひさし追加	雨雪時の誤撮影が低減
車両検知センサ方式の変更	雨雪時の誤撮影が解消 画像欠損が解消
車両検知センサ設置位置の変更	画像欠損が解消
ライン照明角度調整	画像ノイズが低減
カメラの追加	床下機器の死角が解消
レンズF値の調整(2回)	画像ノイズが低減 鮮明度が向上
レンズ焦点距離の変更	鮮明度が向上
前面窓の縮小	筐体内過熱が軽減
遮熱塗料の施工	筐体内過熱が軽減
ドップラ速度計減衰器の調整	画像欠損が解消
制御ソフト改修・設定変更 (89回)	日光による1両分割不良が解消 雨による車号誤認識が解消 動作不具合を解消 拡張性が向上 操作性が向上 ほか
計100回以上改良・調整	


レーザーセンサー



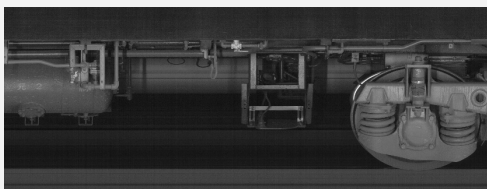
× 画像抜け・誤撮影が頻発




ミリ波レーダーセンサー



✓ 画像抜け・誤撮影なし




全面窓



× 筐体内が過熱

遮熱塗料
(全方向)

個別窓



✓ 3.6℃低下

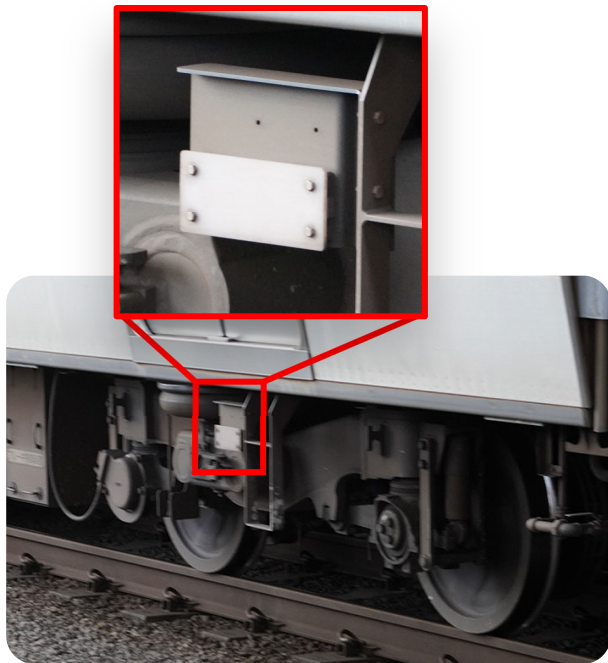
実用に耐えられる性能・安定性を1年9ヶ月間の検証で確認

車号認識アルゴリズムの搭載

Railway Technical Research Institute

従来技術

× 全編成にRFタグの搭載が必要



× 撮影装置にRFIDリーダーが必要

開発技術

車体表記を画像認識 ✓ 車両改修不要で低コスト

車体表記

サハ813 113

JR0クハ810 1608

サハ811-5

改良前

サハ313-113

ハクハ810-1608

(認識不能)

改良後

サハ813-113 (RM-113)

クハ810-1608 (PM-2108)

サハ811-5 (PM-5)

編成表で
自動修正

編成番号
も特定

✓ 車号・編成番号による
撮影画像の検索・閲覧が可能

✓ 車号・編成番号ごとに
撮影履歴を確認可能

閲覧ソフト

検索

撮影番号

撮影日時 2024/11/01 [15] ~ 2024/11/01 [15]

進行方向

編成番号 RM-

車両番号

検索

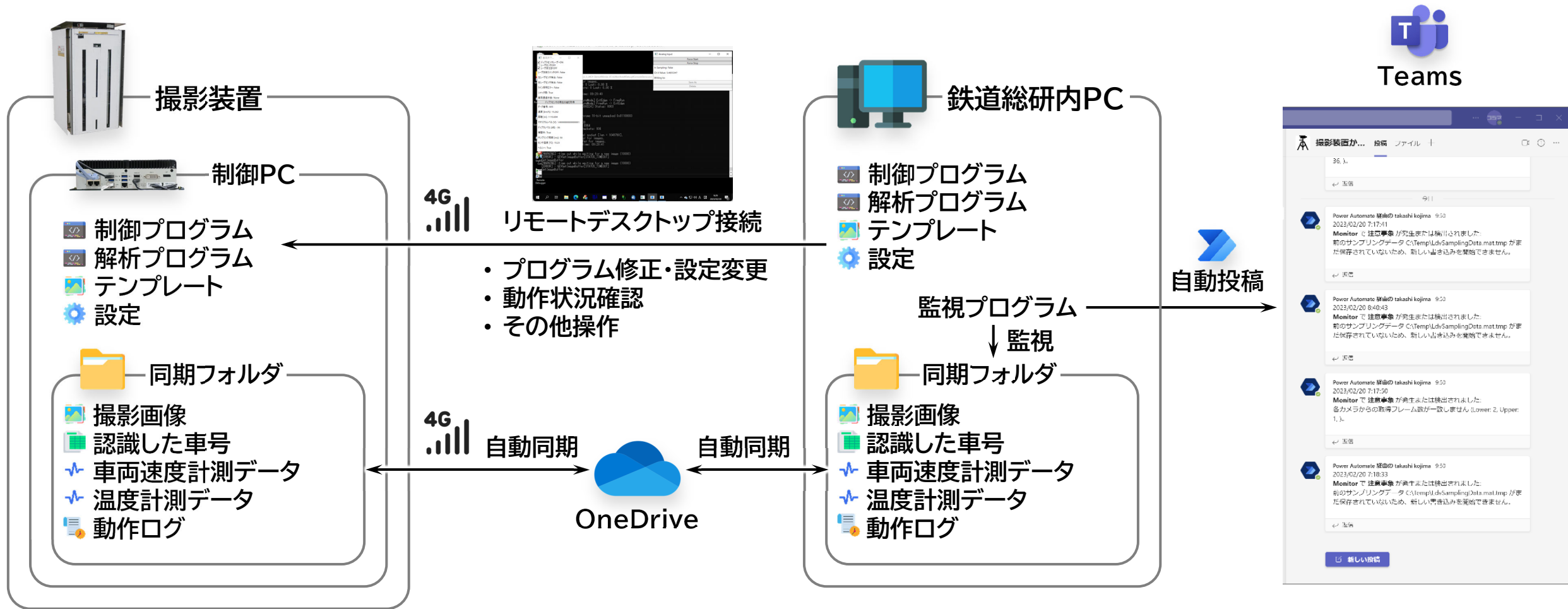
108件見つかりました。

撮影番号	撮影日時	進行方向	撮影編成内位置	編成番号	固定編成内位置	車両番号
20241101214232_L	2024/11/01 21:42	入区	1/9	RM-2215	1/3	クハ813-2215
20241101214232_L	2024/11/01 21:42	入区	2/9	RM-2215	2/3	サハ813-2215
20241101214232_L	2024/11/01 21:42	入区	3/9	RM-2215	3/3	クハ813-2215
20241101214232_L	2024/11/01 21:42	入区	4/9	RM-2222	1/3	クハ813-2222
20241101214232_L	2024/11/01 21:42	入区	5/9	RM-2222	2/3	サハ813-2222

RFIDを用いず車号が自動認識できることを1年9ヶ月間の検証で確認

クラウドによる撮影管理システムの試作

Railway Technical Research Institute

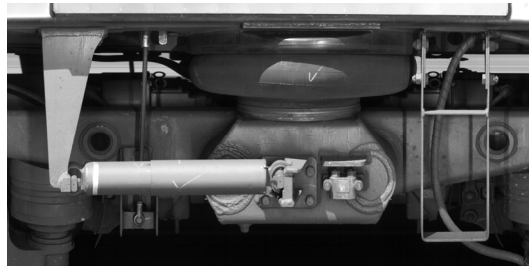


撮影画像に現れる外乱要素の分析

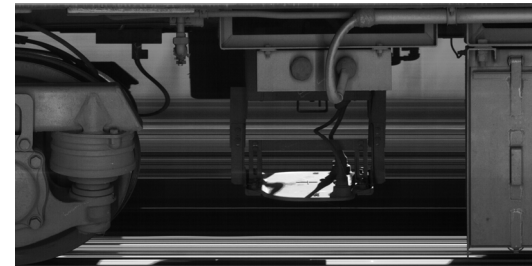
Railway Technical Research Institute

1年9ヶ月間の撮影画像を分析
9種類の外乱要素を抽出

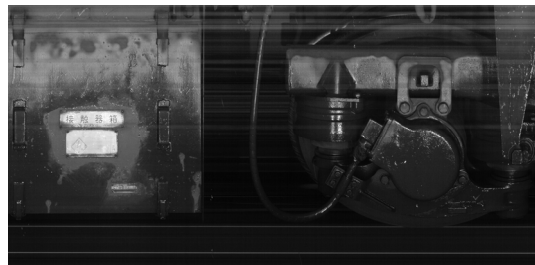
直射日光(順光)



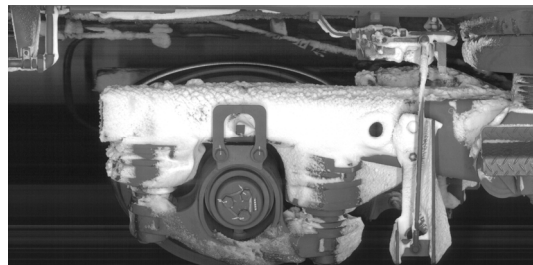
直射日光(逆光)



雨濡れ



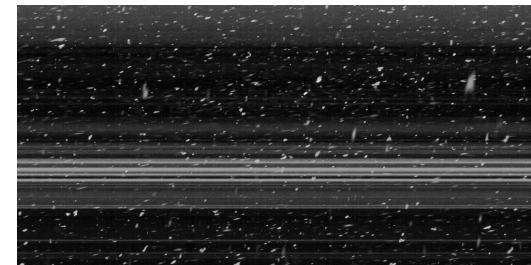
着雪



雨滴



雪片



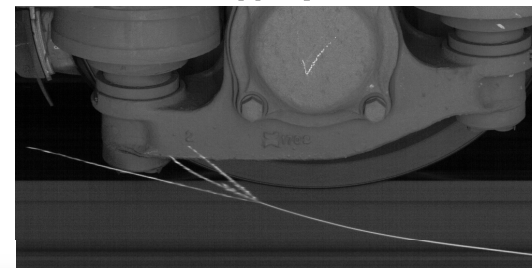
カメラ窓に付着した雨滴



一旦停止による不連続



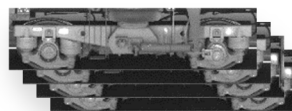
雑草



アルゴリズム開発に必要な様々な外乱画像を取得

診断アルゴリズムの開発

台車テンプレート

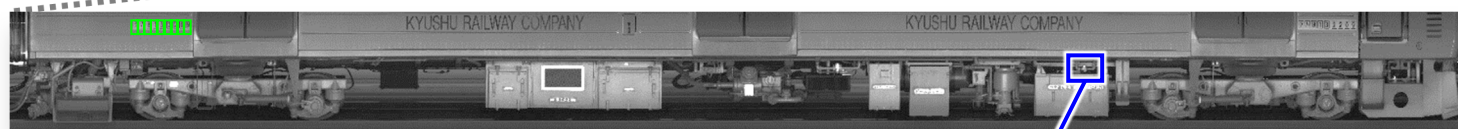


① 台車を検出し、車両を1両単位で認識



車両番号テンプレート

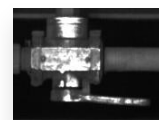
0 1 2 3 4 5 6 7
8 9 ク サ ハ モ ロ



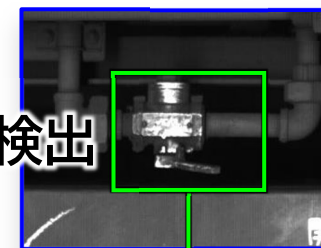
② 車両番号を認識

③ 検査領域を切り出し

検査部位テンプレート
(正常状態の画像)



④ 検査箇所を検出



マスク画像



⑤ 差分、ノイズ除去、マスク処理

差分画像



⑥ 異常度算出 (輝度値合計÷評価面積)、しきい値判定

異常模擬試験

Railway Technical Research Institute

実車両の床下に異常を模擬

排障器曲がり



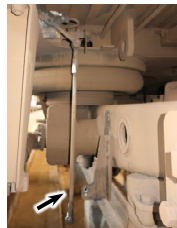
異物(枝)



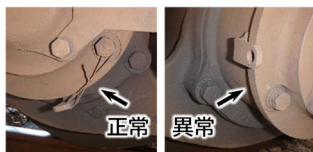
ラッチ開き



調整棒外れ



針金切れ



異物(ビニール)



ボルト落失



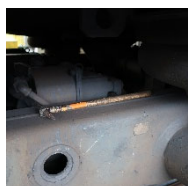
コック反位



コック半開



異物(ハンマー)



リード線ほつれ



ダンパ油漏れ



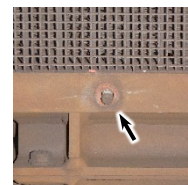
ボルト落失



制輪子落失



ナット落失

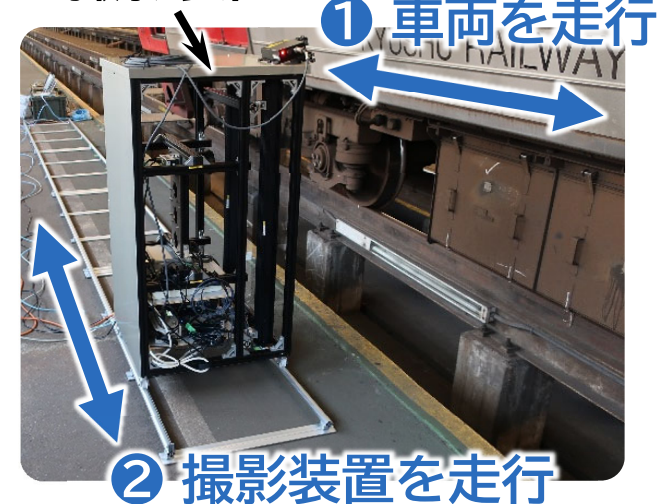


リード線外れ

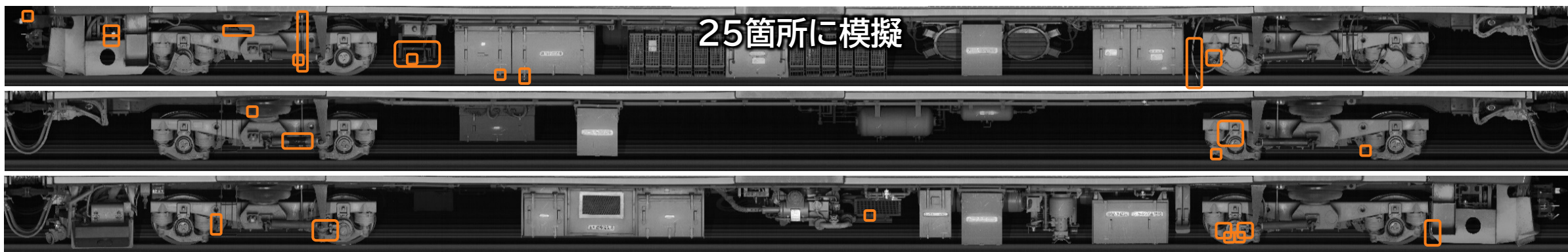


2パターンで撮影

撮影装置



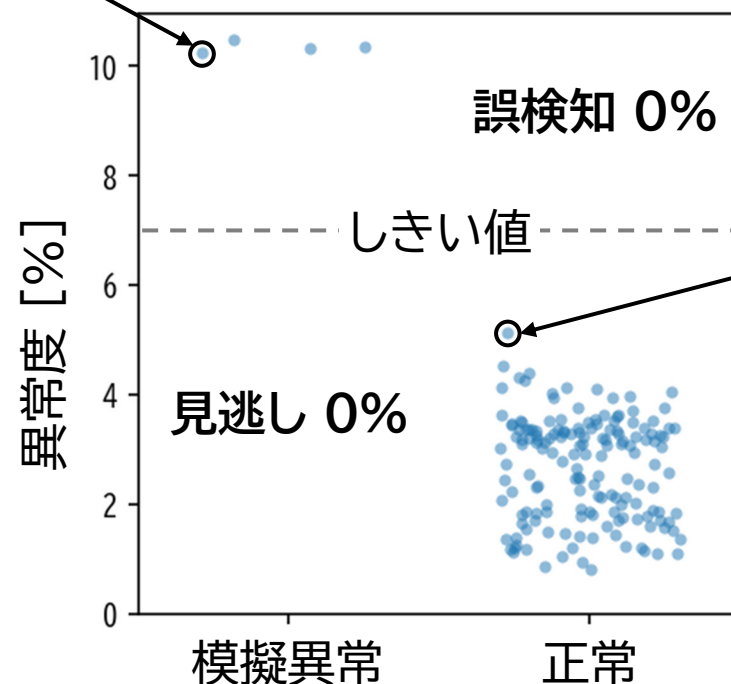
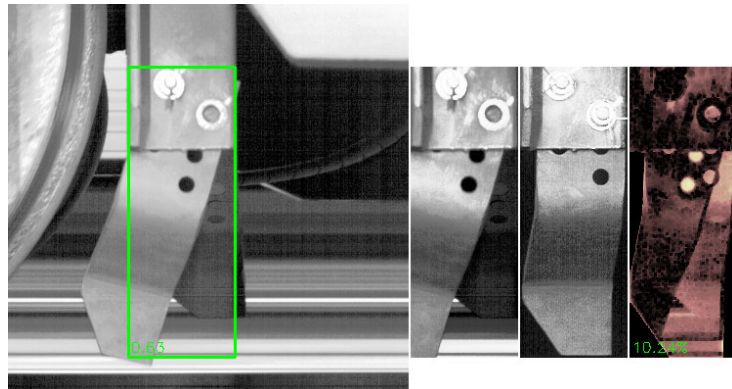
25箇所を模擬



診断アルゴリズムの性能評価 – 差分

Railway Technical Research Institute

排障器曲がりの例

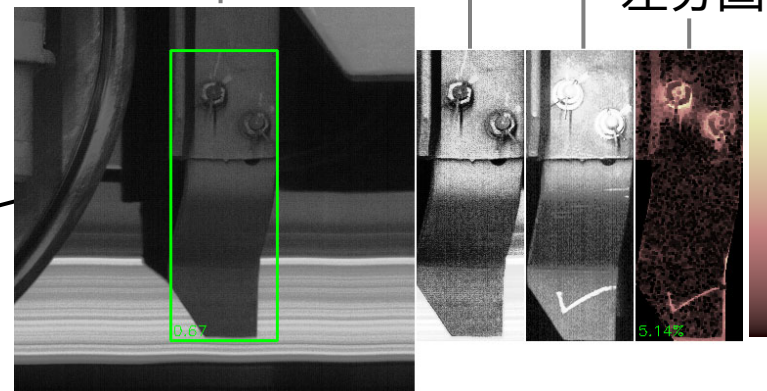


検査箇所検出結果

切り出した検査箇所

テンプレート

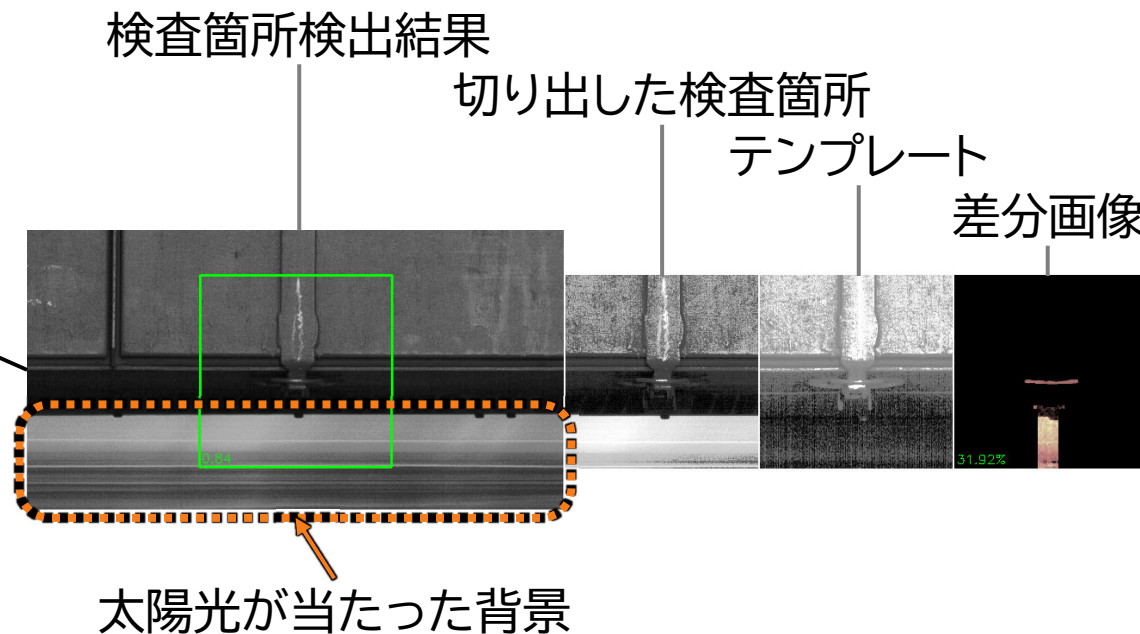
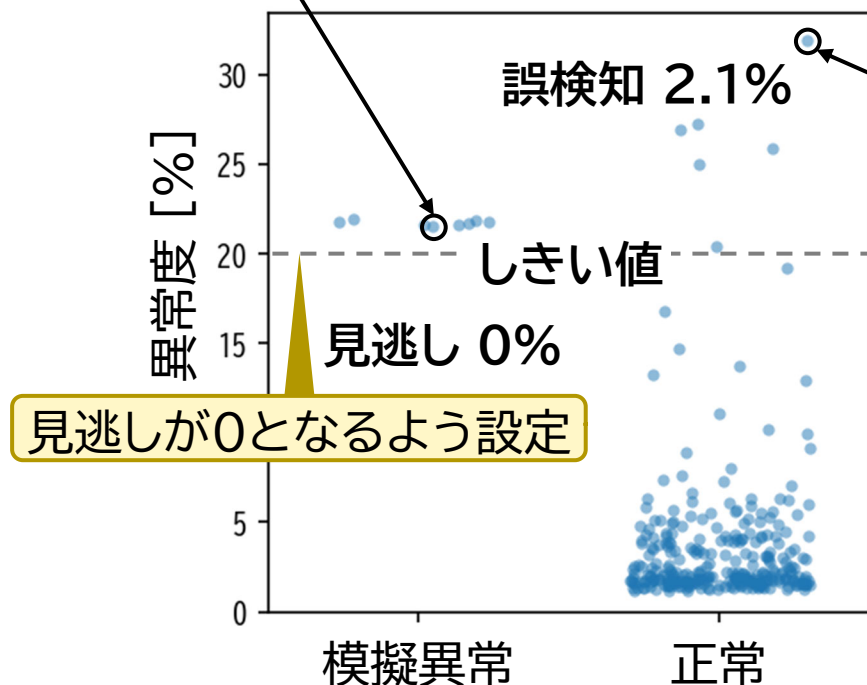
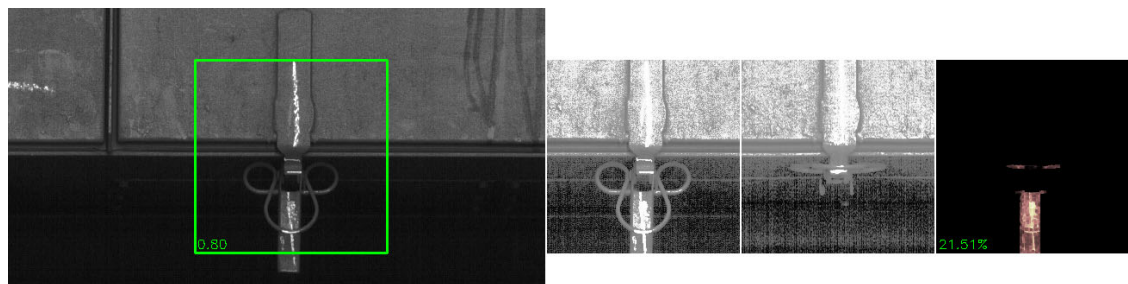
差分画像



診断アルゴリズムの性能評価 – 差分

Railway Technical Research Institute

機器箱蓋ラッチ開きの例



- 画像上で背景領域に現れる異常
- 発生個所が限定されない異常に対して精度が不足

外乱に強い診断手法の検討

異常検知に用いられる手法の比較

		メリット	デメリット
ルールベース (差分など)		<ul style="list-style-type: none">✓ 限定的な条件下では精度を出しやすい✓ 調整が容易✓ 結果の根拠を説明しやすい	<ul style="list-style-type: none">✗ ルール化できない対象・外乱には対応できない
機械学習	教師あり学習	<ul style="list-style-type: none">✓ 既知の異常の検出精度が高い	<ul style="list-style-type: none">✗ 学習データが少ないと精度が出ない✗ 結果の根拠の説明が難しい
	教師なし学習	<ul style="list-style-type: none">✓ 特徴の捉えにくい対象・外乱に対応できる✓ 異常データの学習が不要✓ 未知の異常を検出可能	<ul style="list-style-type: none">✗ 多数の異常データが必要✗ 未知の異常に弱い✗ 教師あり学習に比べ精度が出にくい

→ 技術進歩により改善傾向

機械学習(教師なし)を用いた診断アルゴリズムの開発

Railway Technical Research Institute

外乱のある画像を優先的に自動選定



様々な外乱を伴う正常画像3000枚



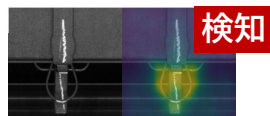
- ✓ 異常の学習が不要
- ✓ 未知の異常に対応可能

診断アルゴリズムの性能評価 – 機械学習・差分

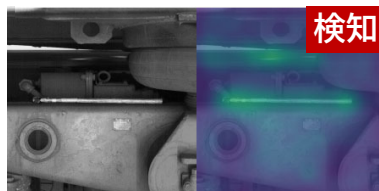
Railway Technical Research Institute

各異常の検知結果

機器箱蓋ラッチ開き



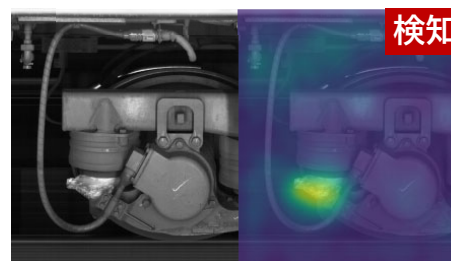
異物(ハンマー)



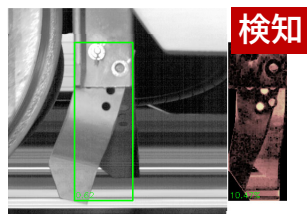
リード線ほつれ



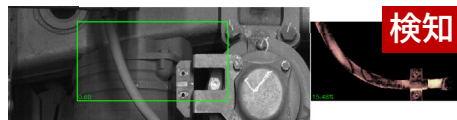
異物(ビニール)



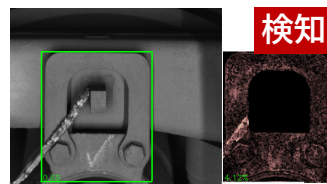
排障器曲がり



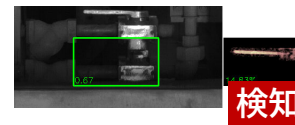
リード線外れ



異物(枝)



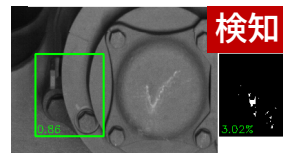
コック反位



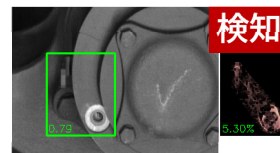
コック半開



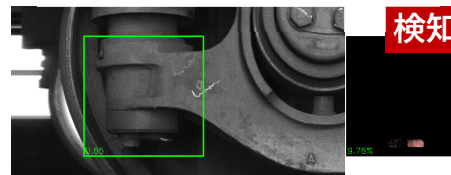
針金切れ



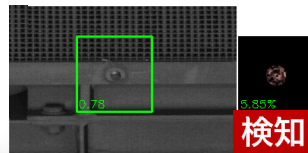
ボルト落失(側面)



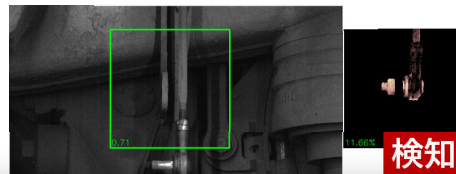
ボルト落失(下面)



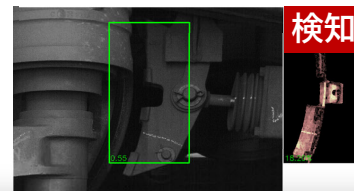
ナット落失



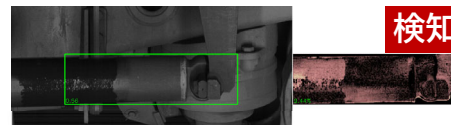
調整棒外れ



制輪子落失

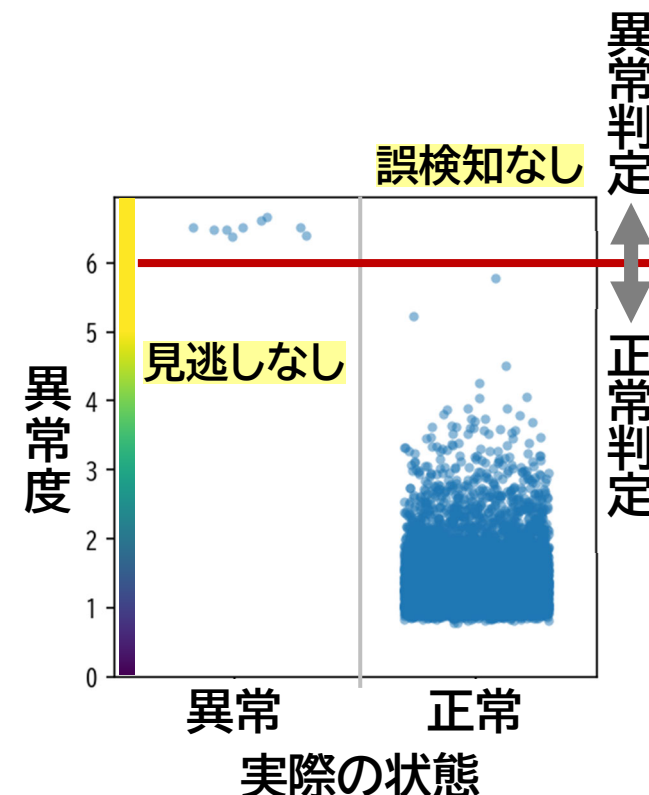


ダンパー油漏れ



診断精度評価

機器箱蓋ラッチ開きの例



昼夜・晴雨を問わず16種類の異常を見逃しなし・誤検知1%未満で診断

検査対象機器・診断対象異常	差分	機械学習
<ul style="list-style-type: none">• 部品のはずれ、傾き• 形状の個体差が大きい機器	○	×
<ul style="list-style-type: none">• 発生個所が限定されない異常（異物など）• 画像上で背景領域に現れる異常（リード線ほつれなど）	×	○
<ul style="list-style-type: none">• 直射日光による陰影の境界箇所• 外観の変化が小さい異常（ボルトゆるみ、きずなど）	×	×

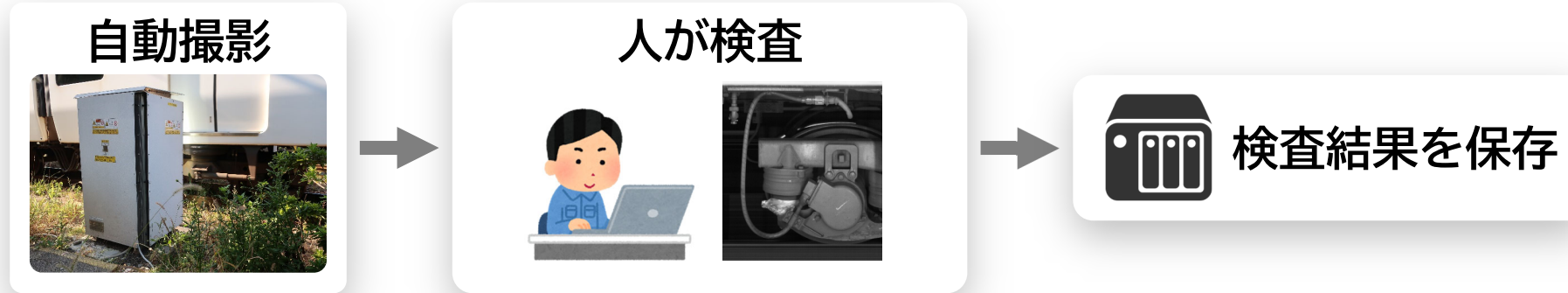
- 車両床下自動撮影装置を開発。
- 撮影装置を車両基地に1年9ヶ月間設置。
 - 機械学習に必要な外乱を伴う延べ30万両の画像を収集。
 - 撮影装置を100回以上改良し、実用性能を確認。
- 実車両に異常を模擬して撮影。
- 機械学習と差分を併用した診断アルゴリズムを開発。
- 昼夜・晴雨問わず16種類の異常を見逃しなし・誤検知1%未満で診断できることを確認。

今後の予定

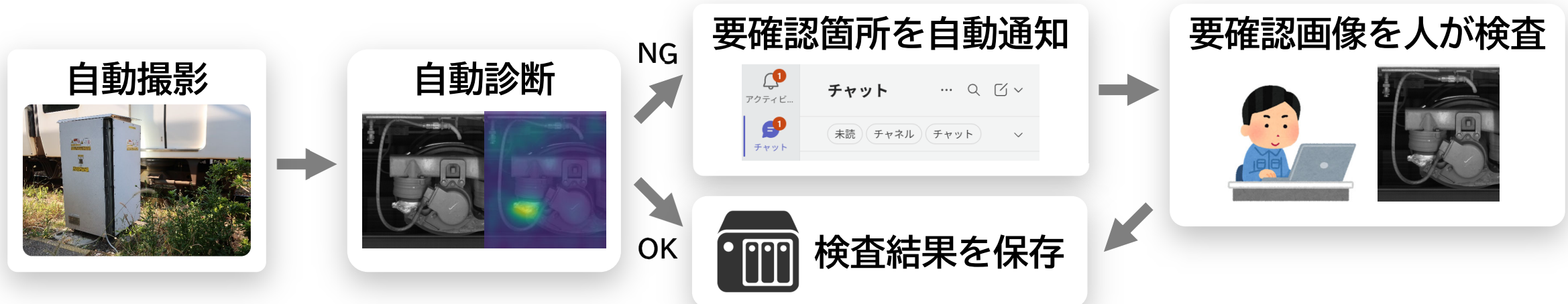
屋根上への対象拡大、診断精度向上

成果の活用

ステップ①：撮影装置を導入、画像を検査員が室内で確認
(撮影装置の開発技術をメーカーに提供・製品化済み)



ステップ②：診断アルゴリズムを導入、画像を自動診断



謝辞 撮影試験にご協力いただきました九州旅客鉄道(株)の関係者の皆様に感謝申し上げます

小島崇, 宮原宏平, 風戸昭人, 鵜飼正人 : 画像による地上からの車両床下
状態確認手法, 鉄道総研報告, Vol.37, No.9, pp.9-15, 2023