

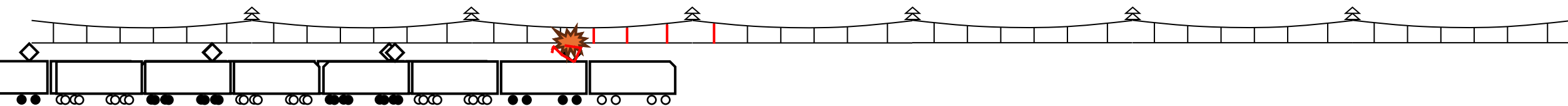
リアルタイム異常検知による パンタグラフ自動降下システム

電力技術研究部 集電管理研究室
主任研究員 松村 周

集電系に起因する輸送障害の特徴

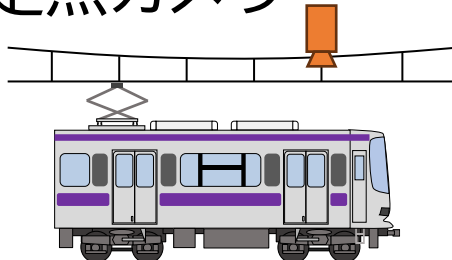
Railway Technical Research Institute

- ⚠ 損傷の連鎖で被害が拡大
- ⚠ 電車線の復旧や自走不能列車の救援等で長時間の運転見合わせ
- ⚠ 損傷範囲の把握に時間がかかり運転再開見込みの旅客案内が遅れる



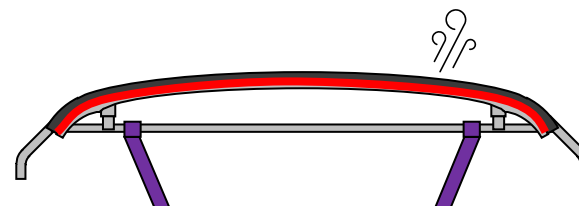
従来技術

定点カメラ



国内では定置の監視装置が主流
常時監視できない

すり板からの空気漏れ検知



欧州の自動降下装置は
すり板の損傷のみ対応

架線・パンタグラフ系の研究の中の位置づけ

Railway Technical Research Institute

鉄道輸送の使命: 安全・安定輸送

突発事故防止

設備の維持

外的要因による
障害を回避

メンテナンスの
省力化・低コスト化

少子高齢化
輸送需要減少

ドライバレス
復旧拠点の集約

被害拡大を防ぎ
ダウンタイムを短縮

人手による保全を自動化
+ α (機械の目なら見えるもの)

飛来物、倒木などによる
架線・パンタグラフの
破損連鎖を防ぐシステム

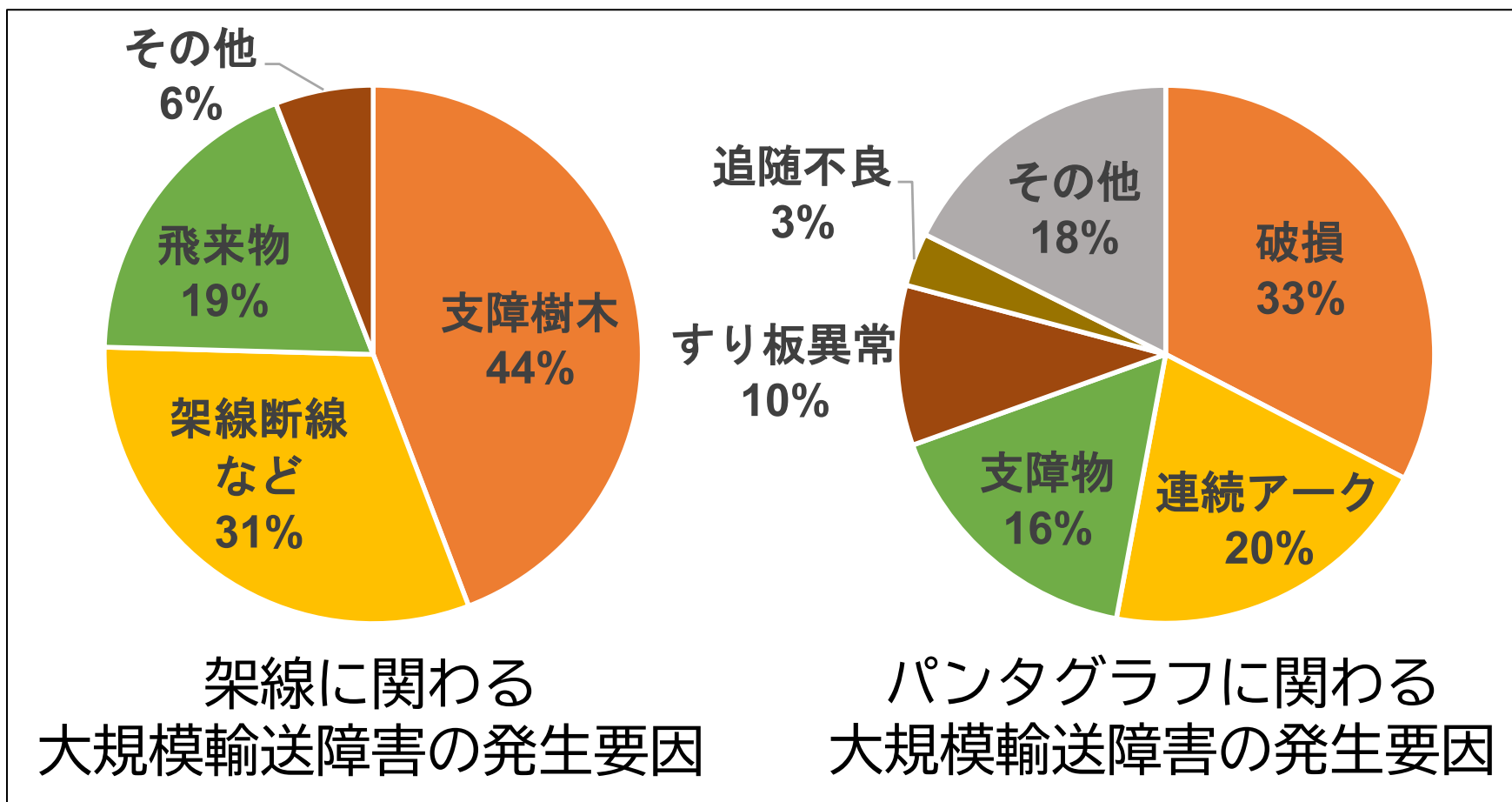
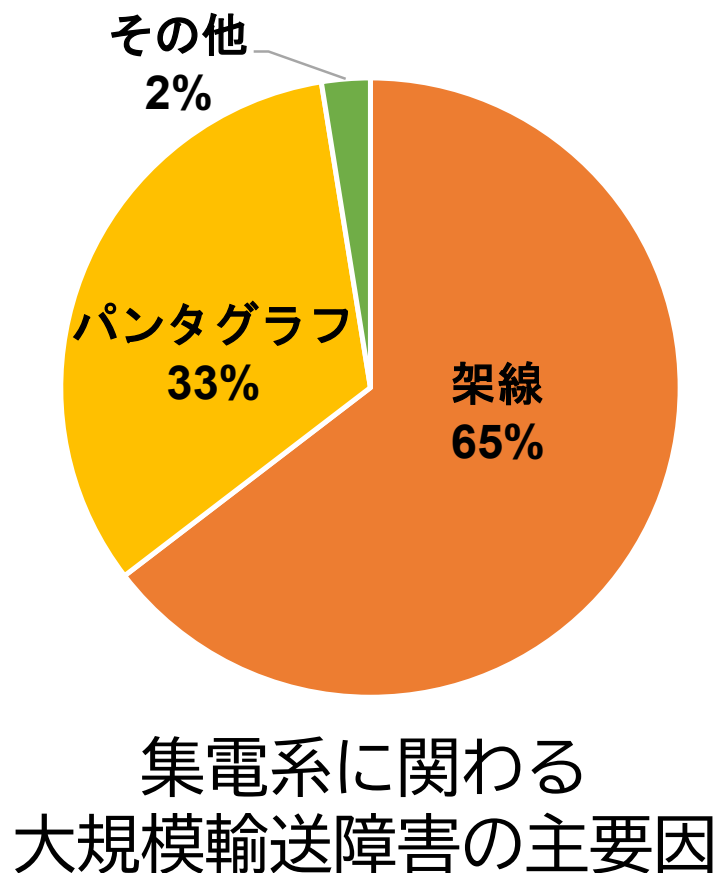
画像とレーザーの
センサフュージョンによる測定
AIによる異常判定

1. 過去の輸送障害の分析
2. 損傷連鎖を回避するシステムの提案
3. 所内試験による検証
4. まとめ

集電系に起因する輸送障害データ分析

Railway Technical Research Institute

過去20年分 約4000件の集電系に関わる輸送障害データを分析し検出対象を選定



大規模輸送障害 ⇒ 最大遅延時間が120分以上

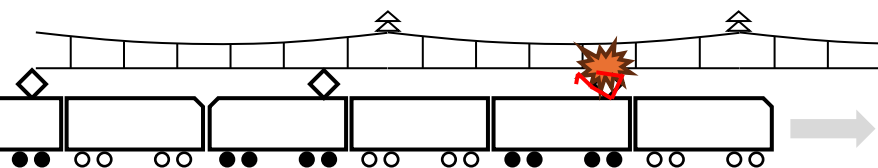
具体的な検出対象を整理

	異常種別	検出対象	損傷連鎖
架線	支障樹木	倒木・倒竹	連鎖する
	架線断線	トロリ線・ちょう架線	連鎖しない
	飛来物	ビニール	連鎖する
パンタグラフ	破損	パンタグラフ変形 部品脱落	連鎖する
	支障物	パンタグラフに付着物	連鎖する
	すり板異常	段付摩耗・異常摩耗	連鎖する
	連続アーク	トロリ線着氷霜	連鎖する

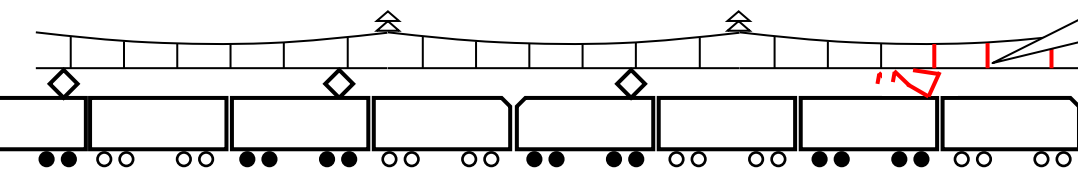
集電系の損傷連鎖とその回避策

Railway Technical Research Institute

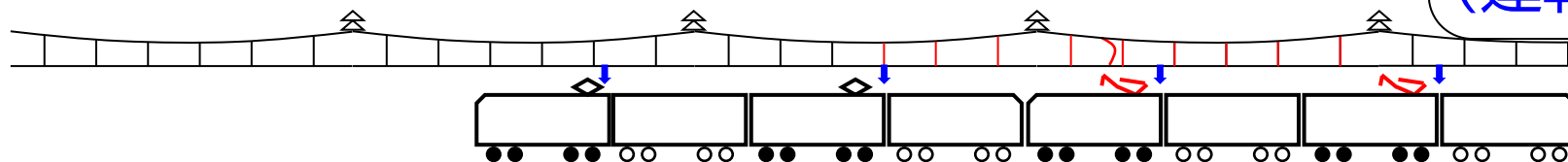
Case1 パンタグラフの故障が発生



架線を壊しながら走行
後続パンタも破損

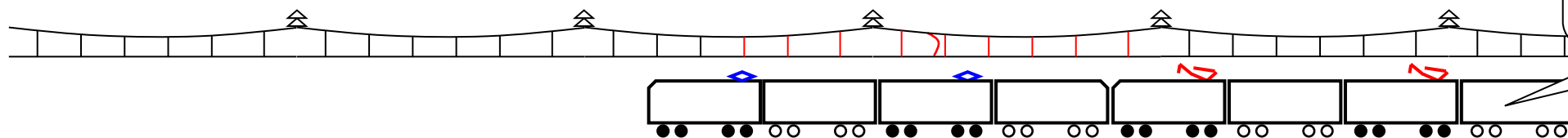


編成内の全パンタグラフを緊急降下



パンタグラフ異常を1秒以内に検知
飛来物を第2パンタから100m以内
(運転台から40m)で検知

編成後方のパンタグラフ破損は回避

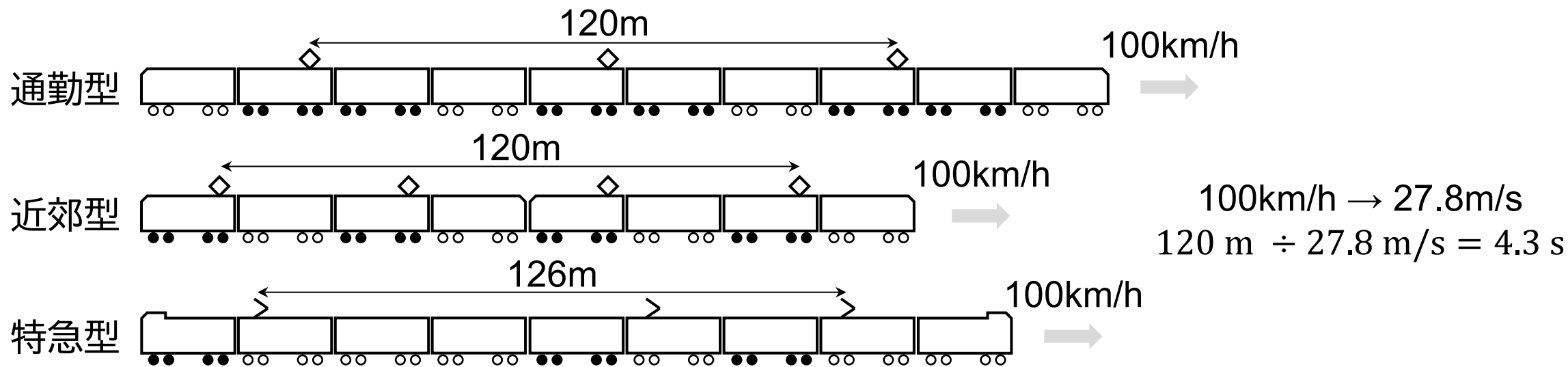


自力走行可能
架線損傷範囲限定

Case2 電車線に付着した飛来物に
パンタグラフがぶつかり破損

パンタグラフを常時監視・異常発生時に緊急降下して損傷連鎖を断ち切る

- ・ 輸送障害時の影響人員が大きい(≡編成両数が多い)線区を想定



- ・ 走行速度を100km/hとすると、概ね先頭パンタグラフの破損から4.3秒以内にパンタグラフを支障のない位置まで降下する必要がある
- ・ パンタグラフ降下時間＝絶縁離隔確保まで3秒(JIS規格)
- ・ 車上リアルタイム処理で異常検出～パンタグラフ降下指令出力が1.3秒以内

リアルタイムに異常を検出するには？



異常検知性能



トレードオフ



動作速度

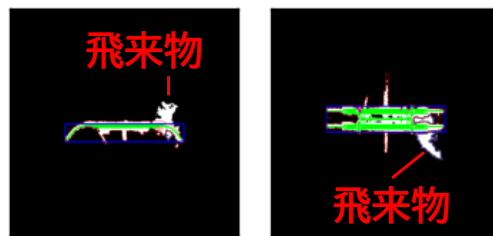
常時監視には
リアルタイム処理が必須

手法	メリット	デメリット
ルールベース	高速で動作する	外乱に弱い 網羅的にルールを構築することが困難
異常検知AI	多種多様な異常に対応 異常検知精度が高い	動作速度が遅い
物体検知AI	異常検知AIより高速で動作	直接異常検知はできない → 検知結果から異常を判定する工夫が必要

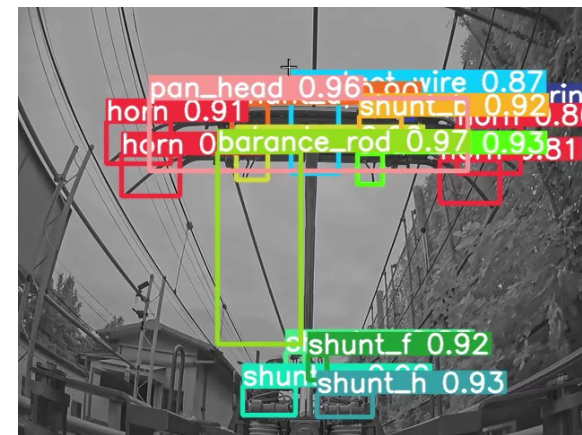
高速動作する物体検知AIとルールベースの判定を
組み合わせて異常検知を実現

物体検知AIを用いたリアルタイムパンタグラフ異常検出

Railway Technical Research Institute



支障物 ⇒ 物体検知AI & LiDAR



部品脱落 ⇒ 物体検知AI
&座標処理



すり板段付摩耗 ⇒ 物体検知AI
&トロリ線トラッキング



異常アーク ⇒ 物体検知AI

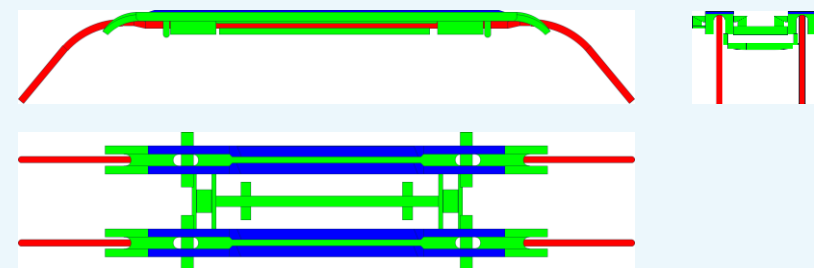
パンタグラフへの飛来物付着検知 —物体検知AI & LiDAR

Railway Technical Research Institute

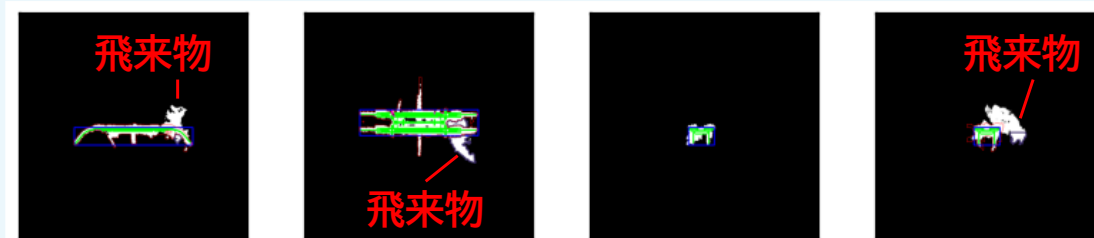
物体検知AI



LiDAR



テンプレート画像と比較して
3次元点群データから飛来物を検出



所内試験において学習なしで4種類の飛来物を検出可能であること
営業線映像(昼夜含む約20万フレーム)で誤検知がないこと
を確認

パンタグラフ部品脱落検知 — 物体検知AI

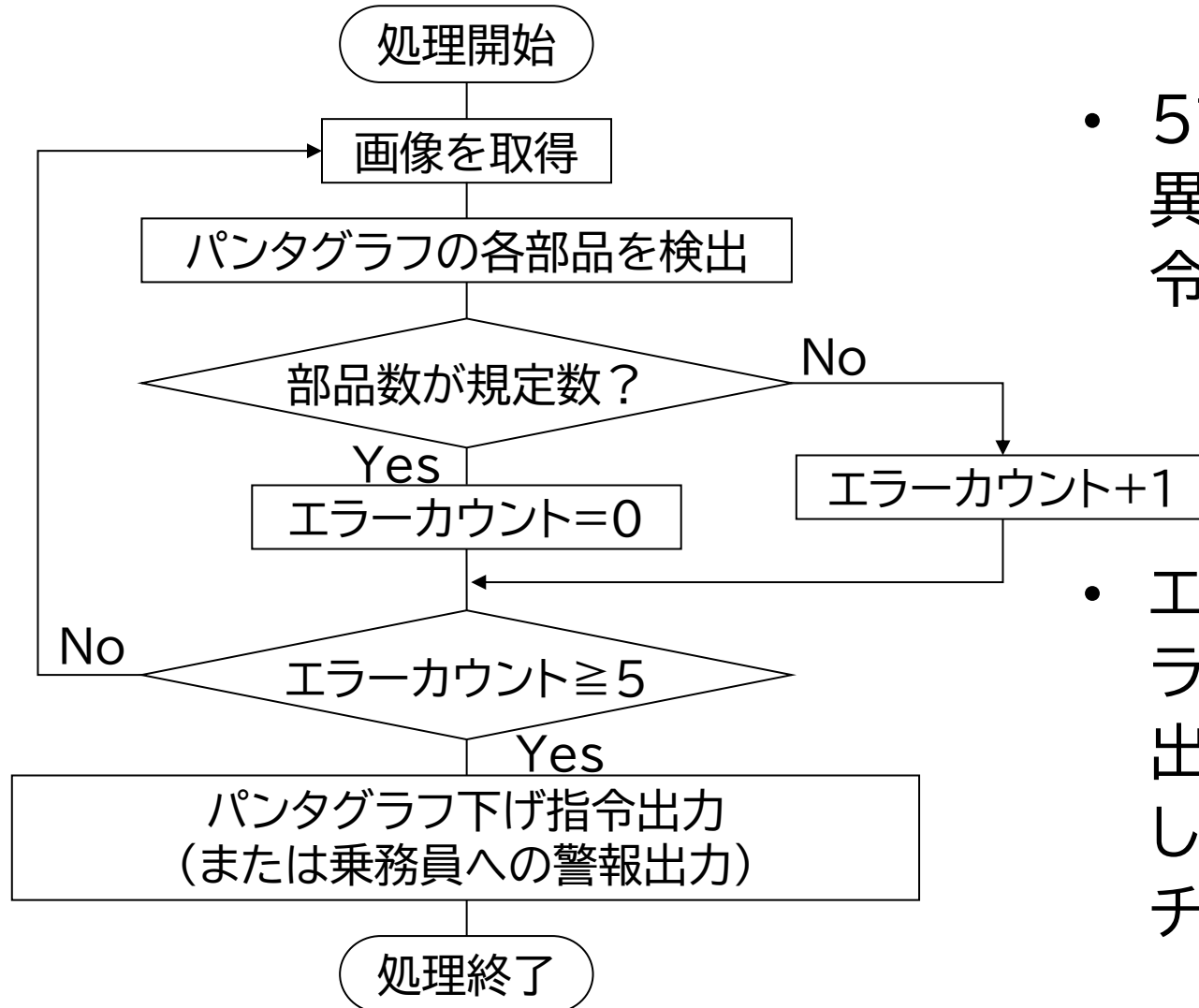
Railway Technical Research Institute

物体検知AI + 座標処理



所内試験(ホーン脱落4回)でホーン脱落見逃しがないこと
営業線映像(約20万フレーム)で部品脱落誤検知がないこと
を確認

アルゴリズムのフローチャート



- 5フレーム連続で脱落を検出すると異常と判定してパンタグラフ下げ指令出力
- エラーカウントリセットの有無やエラーカウントの判定数などで、誤検出を許容して見逃しを防ぐか、見逃しを許容して誤検出を防ぐかのチューニングが可能

すり板段付摩耗検知 トロリ線トラッキング

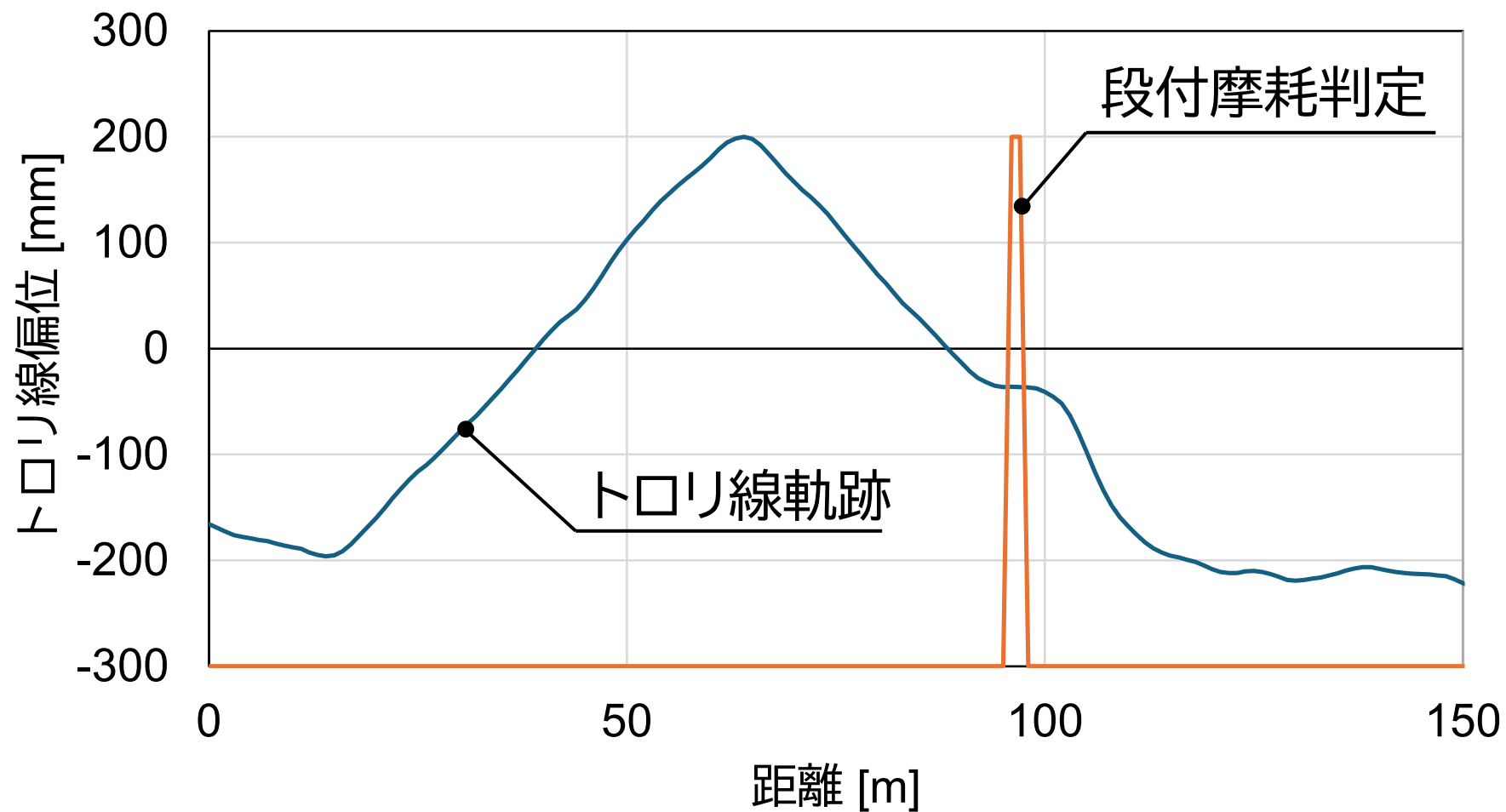
Railway Technical Research Institute

物体検知AI+トロリ線のトラッキング

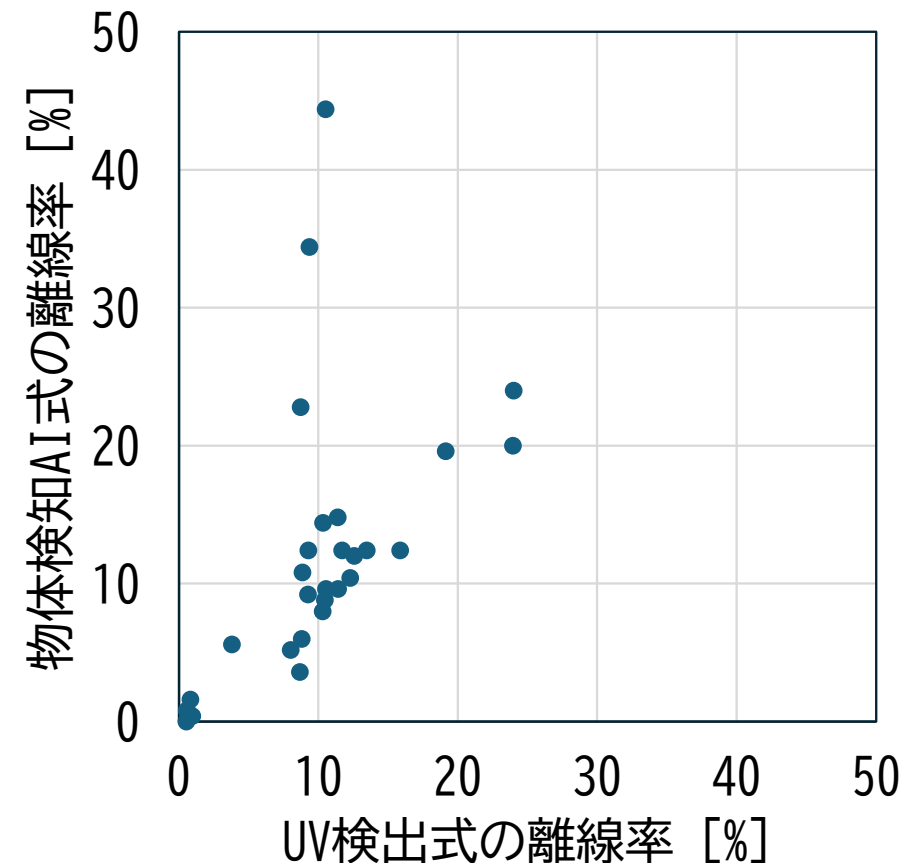
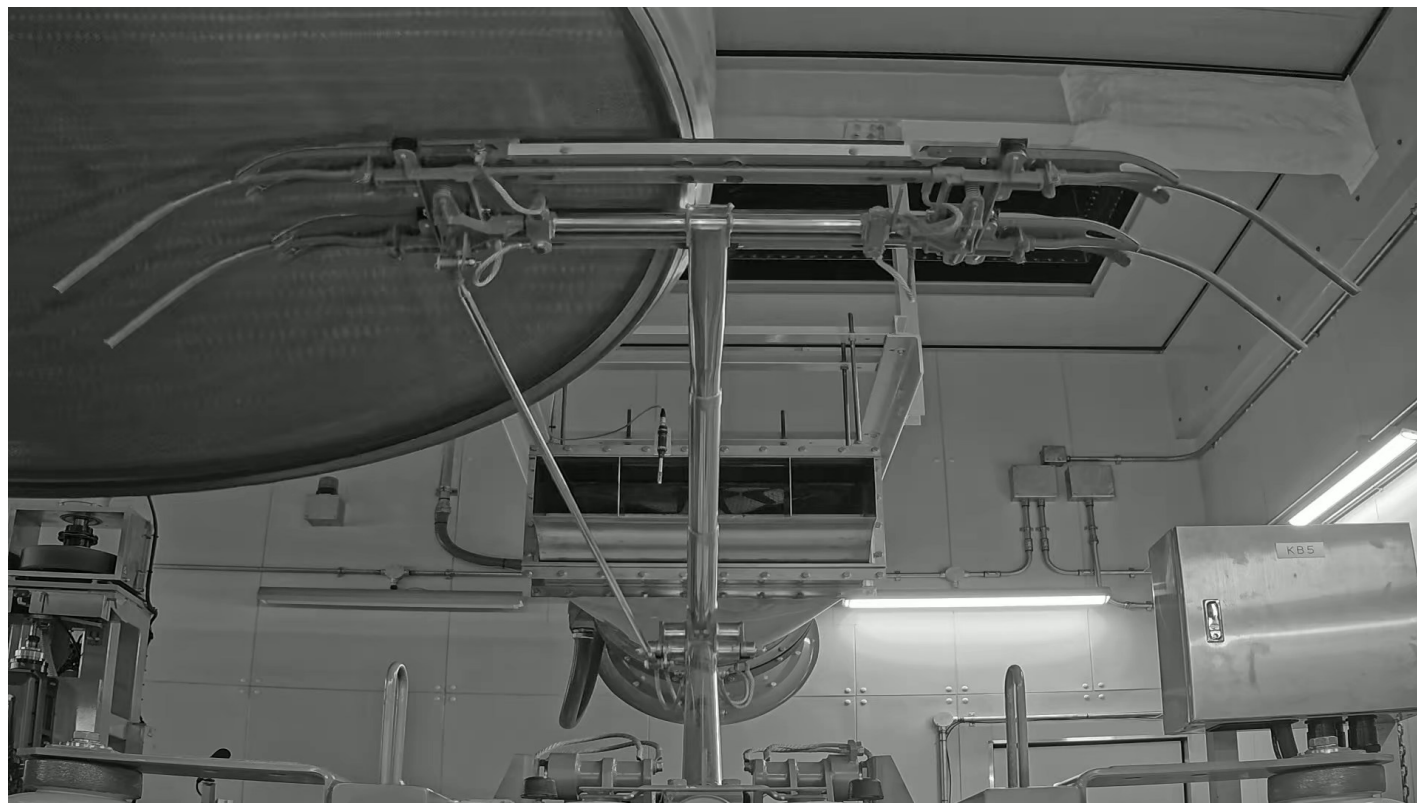


過去の所内試験映像(段付摩耗再現試験5走行分)で
段付摩耗特有のトロリ線挙動が検出可能であることを確認

段付摩耗検出の試行結果



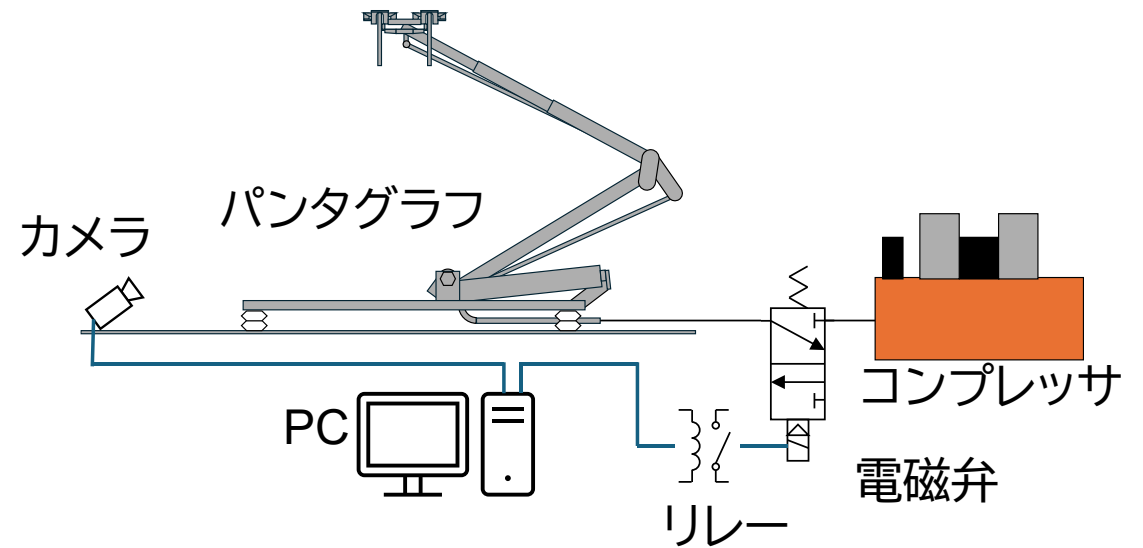
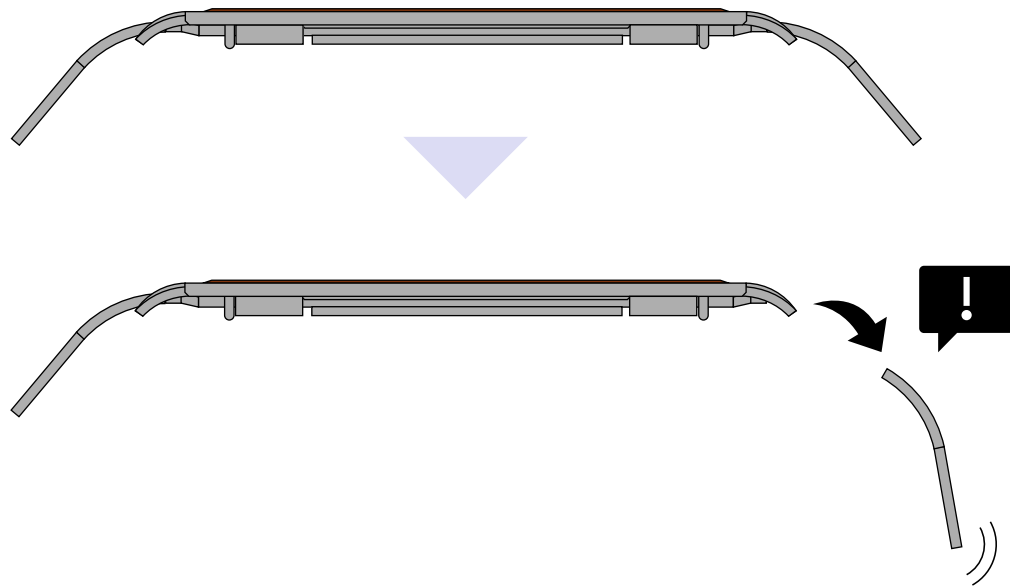
異常アーク ⇒ 物体検知AI



高速パンタグラフ試験装置でUVモジュール式離線測定装置と離線検出性能を比較
相関係数0.55で異常アークの検出には使用可能であることを確認

ホーン脱落検出試験

- 異物との衝撃によるホーン折損・脱落を想定
- パンタグラフの下げシリンダにコンプレッサを接続し、異常検出後にパンタグラフが自動降下するよう構成
- リレー接点出力のため運転台への警報表示など様々な構成が可能



実験時の構成

動画でご覧ください

Railway Technical Research Institute



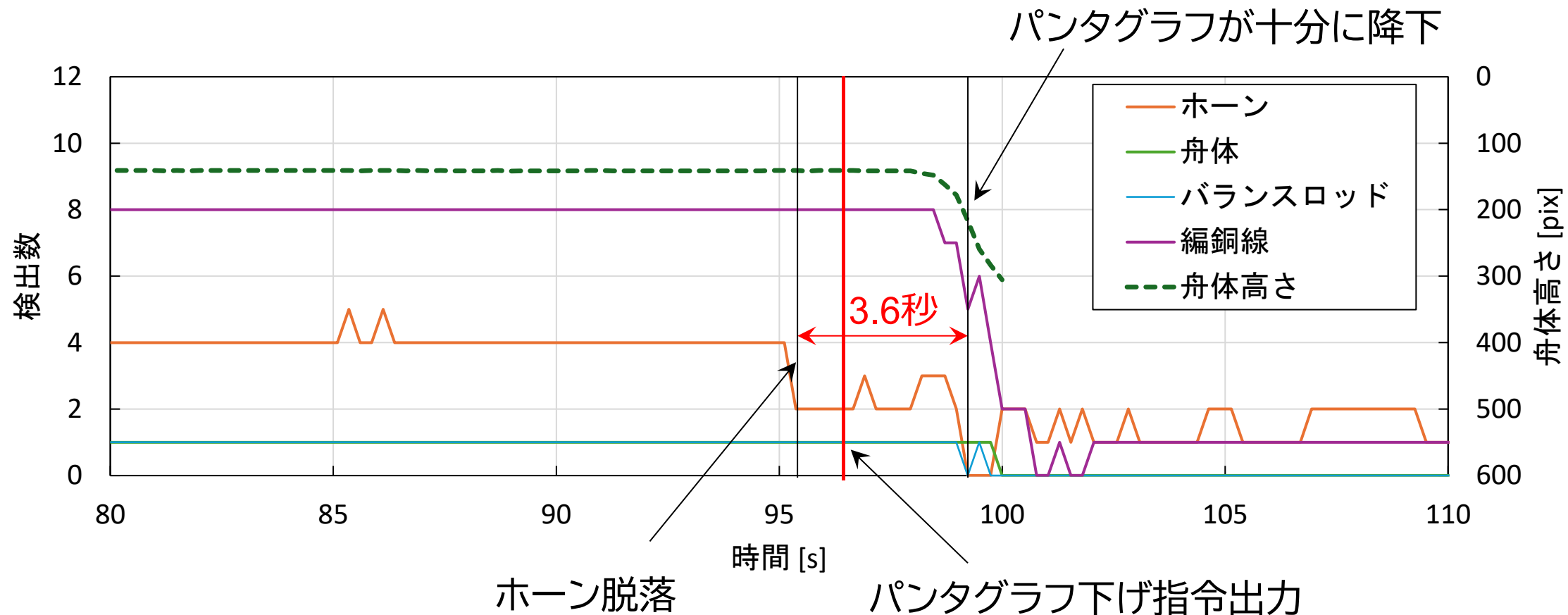
パンタグラフモニタリングプログラムの動作画面

Railway Technical Research Institute



- 物体検知アルゴリズムは yolov9
- デスクトップPC上で5fps
- 異常発生から下げ指令まで 約1秒

タイムチャート



目標とする4.3秒以内のパンタグラフ降下を実現

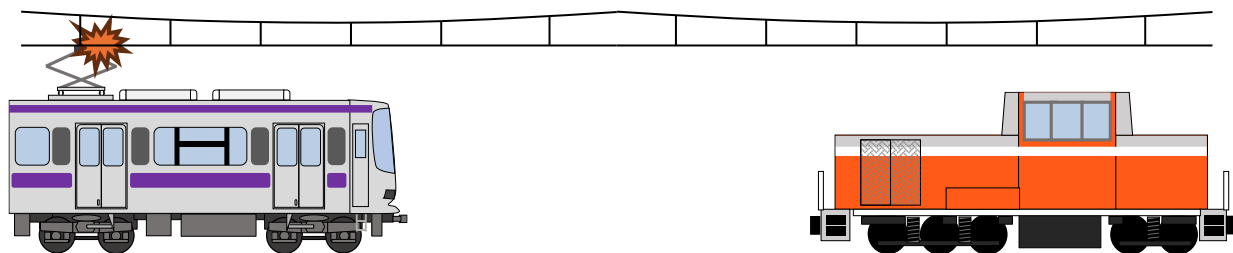
集電系の輸送障害のダウンタイム低減を目指して

- 過去の輸送障害データの分析により検出すべき4種類の異常を特定
- これらの異常を対象にリアルタイム動作する物体検知AIを用いてそれぞれ異常検知アルゴリズムを構築
- 所内試験で見逃しが無いことを、営業線の映像で誤検知が無いことを確認
- 提案したアルゴリズムを組み込んだ損傷回避システムを試作
- 異常を検知した際に、パンタグラフが自動降下することを確認

パンタグラフ自動降下システム適用の効果

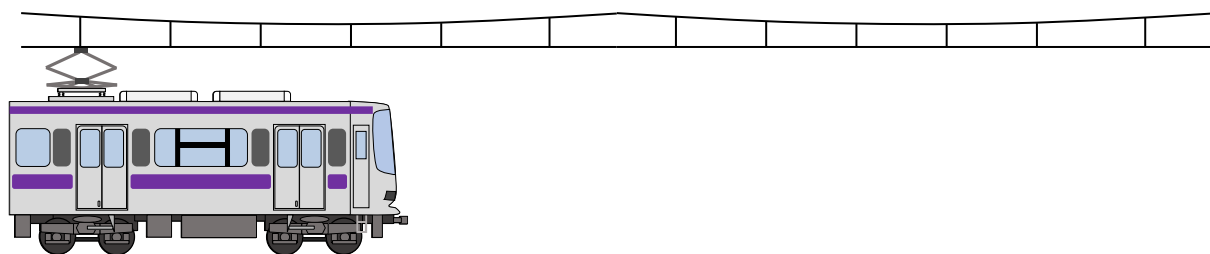
損傷連鎖発生
長時間の復旧作業

自走不能
救援手配



損傷連鎖回避

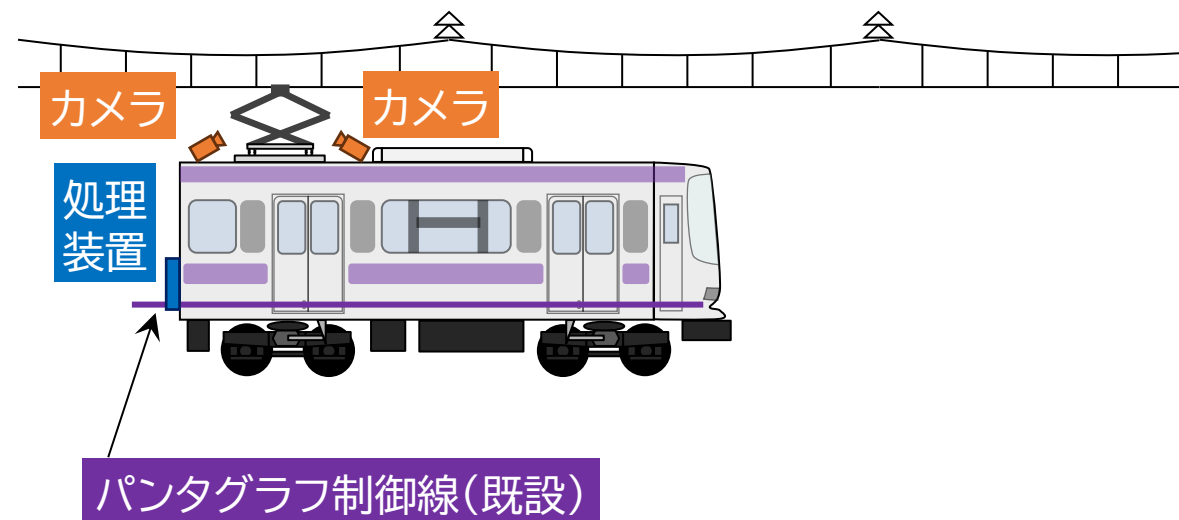
列車自力走行可能



ダウンタイム低減・早期運転再開が可能

車両への実装イメージ

- パンタグラフモニタリング用の処理装置はアクセスしやすい妻面に設置
- 既存の制御線を処理装置に接続することでパンタグラフ自動降下可能（新規の引通し線は不要）



- 松村周：物体検知AIを用いたパンタグラフモニタリング手法の基礎検討，電気学会研究会資料，交通・電気鉄道研究会，TER-25-016/LD-25-016，2025
- 松村周：パンタグラフ映像によるトロリ線高さ偏位簡易測定手法，令和7年電気学会全国大会講演論文集，5-174，2025
- 松村周：物体検知AIを用いたパンタグラフすり板段付摩耗検出手法，電気学会研究会資料，交通・電気鉄道研究会，TER-25-096/VT-25-029，2025