

深層学習モデルを用いた 電車線金具の異常検出手法

電力技術研究部 集電管理研究室

主任研究員 松村 周

本日の発表

1. 画像処理による架空電車線保全のデジタル化
2. 異常検出の対象設備と異常種別
3. 形状異常検出手法
4. 色異常検出手法
5. 電車線金具異常検出自動化のイメージ
6. まとめと成果の活用

画像処理による架空電車線保全のデジタル化

従来

手作業を中心とした測定
と
目視と経験による診断

目標

高頻度計測による
設備状態のデジタル化
と
診断の自動化



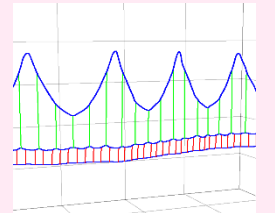
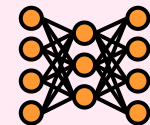
デジタル化（機械の目で見ると）

3次元計測
（線条位置など）



画像計測
（形状・色など）

診断の例 劣化状態の評価
（深層学習）



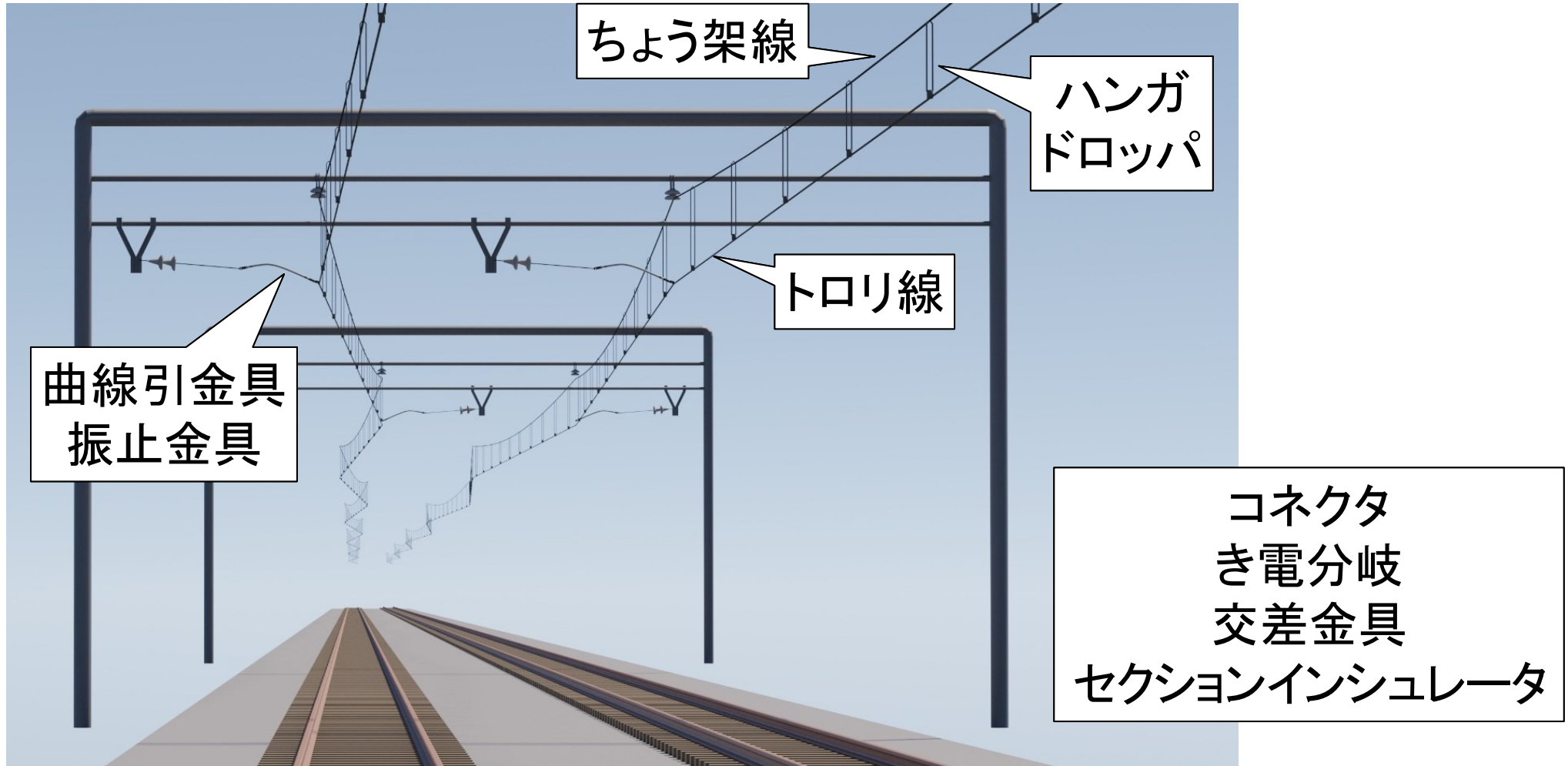
基準値による評価
（高さ・偏位・高低差）

動特性評価

本日の発表

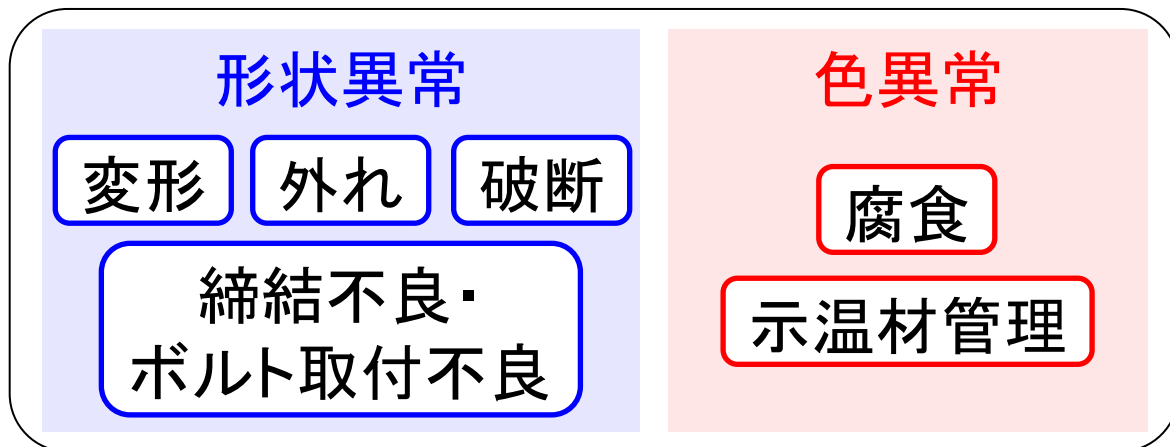
1. 画像処理による架空電車線保全のデジタル化
2. 異常検出の対象設備と異常種別
3. 形状異常検出手法
4. 色異常検出手法
5. 電車線金具異常検出自動化のイメージ
6. まとめと成果の活用

異常検出の対象設備



■ 検出対象の異常種別

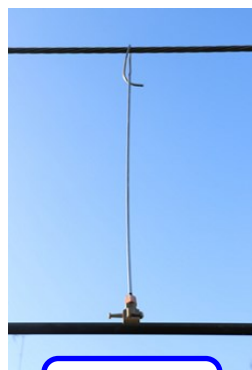
外観検査自動化のために検出対象とする異常を形状異常4種類、色異常2種類に整理



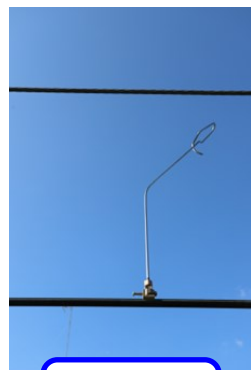
腐食



示温材管理



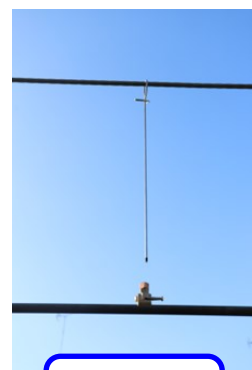
正常



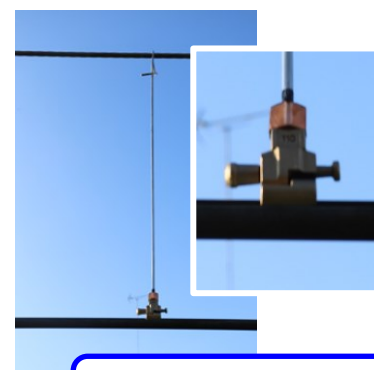
変形



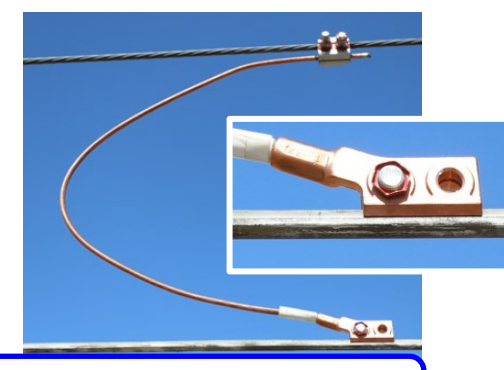
外れ



破断



締結不良・ボルト取付不良



異常種別に対応した異常検出手法

対象設備:

- ✓ ハンガ
- ✓ コネクタ
- ✓ ドロッパ
- ✓ 曲線引金具
- ✓ き電分岐
- ✓ 交差金具
- ✓ セクションインシュレータ
- ✓ ちょう架線

異常種別	検出手法
変形	構成部品抽出 + PatchCore 工業製品に対して 高精度に異常検出可能な 汎用機械学習アルゴリズム
外れ	
破断	
ボルト取付不良	
示温材管理	
腐食	画素の区分け (セグメンテーション) + 画素値演算

重要度の高いトロッコ線周りの設備をカバー

各異常種別に対応する
検出手法を提案

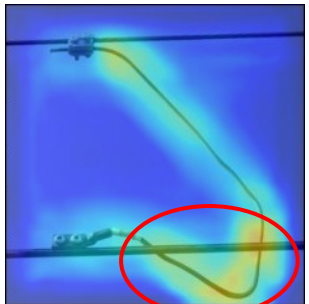
本日の発表

1. 画像処理による架空電車線保全のデジタル化
2. 異常検出の対象設備と異常種別
3. 形状異常検出手法
4. 色異常検出手法
5. 電車線金具異常検出自動化のイメージ
6. まとめと成果の活用

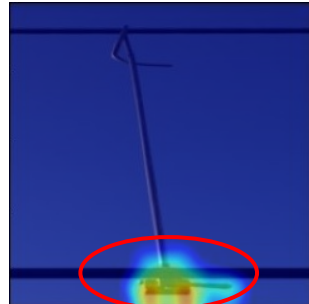
形状異常 — 検出手法の開発

提案手法：架線金具の局所異常を含む各種異常を検出可能

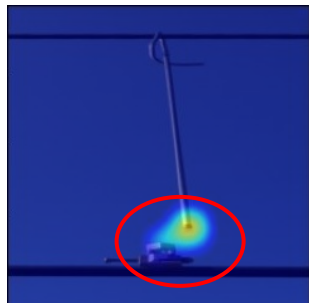
破断・ボルト取付不良など



▲コネクタ変形



▲ハンガ外れ



▲ハンガ破断



▲交差金具
ボルト不良

工業用異常検知データセットに対して
高スコアのPatchCoreを金具検出・切出しの
前処理と組み合わせて架線金具に適用

画像加工により模擬したハンガの異常画像10枚と
正常画像50枚に対して
異常検出精度90% (適合率90%・再現率90%)

(明かり区間・日中)

高頻度に異常検出を行うことで
異常の見逃しをさらに低減可能

異常検出アルゴリズム

- PatchCore … 学習済み深層学習モデルを用いた異常検出アルゴリズム

学習フェーズ

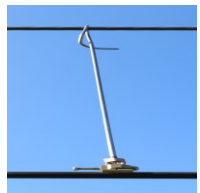


(正常画像のみ)

3×3のパッチごとに
特徴量抽出
(WideResNet50)

特徴ベクトルを
メモリバンクに保存

検出フェーズ



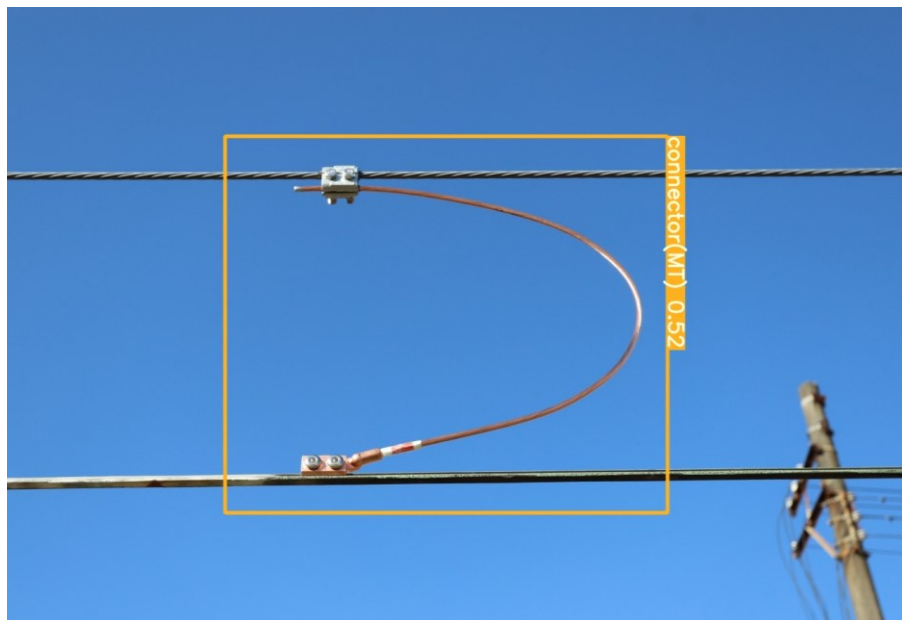
3×3のパッチごとに
特徴量抽出
(WideResNet50)

メモリバンクと比較して
最近傍法で
異常スコアを算出

出力

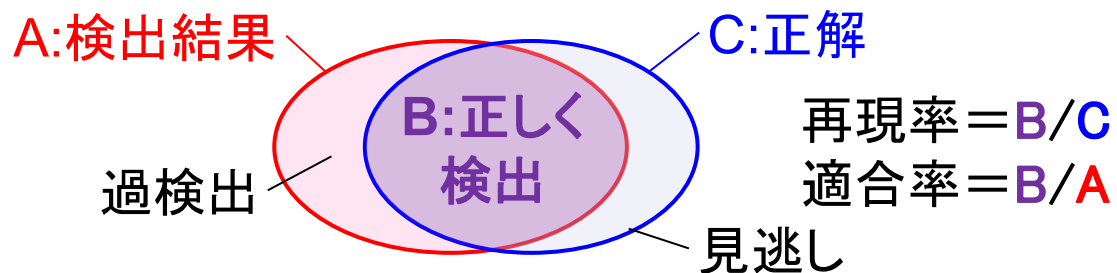
K. Roth, L. Pemula, J. Zepeda, B. Scholkopf, T. Brox, P. Gehler, “Towards total recall in industrial anomaly detection”, arXiv preprint arXiv: 2106.08265, 2021.

形状異常 — 電車線金具の認識



電車線金具の検出率 アルゴリズム変更による検出精度向上

電車線画像 1000枚に対する評価	SSD		yolov5	
	適合率	再現率	適合率	再現率
ハンガ	99.5%	97.4%	98.6%	100.0%
コネクタ	100.0%	90.0%	100.0%	100.0%
可動ブラケット	85.0%	70.8%	91.7%	100.0%
曲線引金具	91.7%	64.7%	100.0%	100.0%



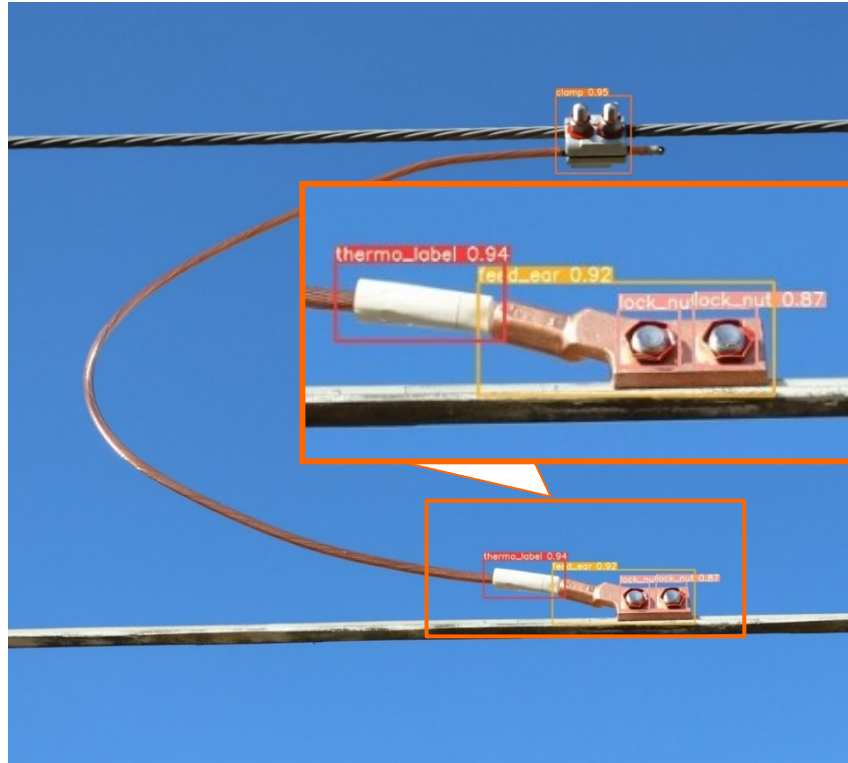
物体検出アルゴリズム

- SSD* 2016～
 - 画像内の様々なサイズの物体を検出してラベル付けするアルゴリズム
- Yolov5** 2020～
 - 高速・高精度な物体検出アルゴリズム

* Liu, W. et al. SSD: Single Shot MultiBox Detector. In: ECCV 2016.

** <https://github.com/ultralytics/yolov5>

形状異常 — 電車線金具の構成部品認識



電車線金具全体の画像と各構成部品を切り出した画像について、それぞれ異常検出処理を行うことで検出精度の向上を図った

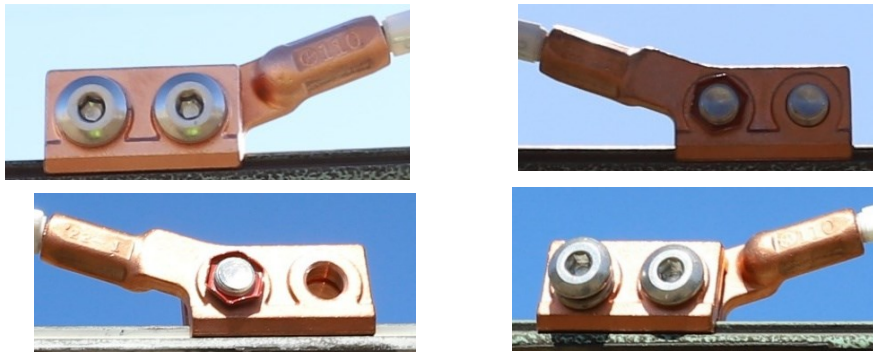
電車線金具の構成部品の検出率(コネクタ画像30枚)

	適合率	再現率
フィードイヤー	100.0%	100.0%
イダリング	100.0%	100.0%
袋ねじ	100.0%	100.0%
示温ラベル	100.0%	96.7%
コネクタクランプ	100.0%	100.0%

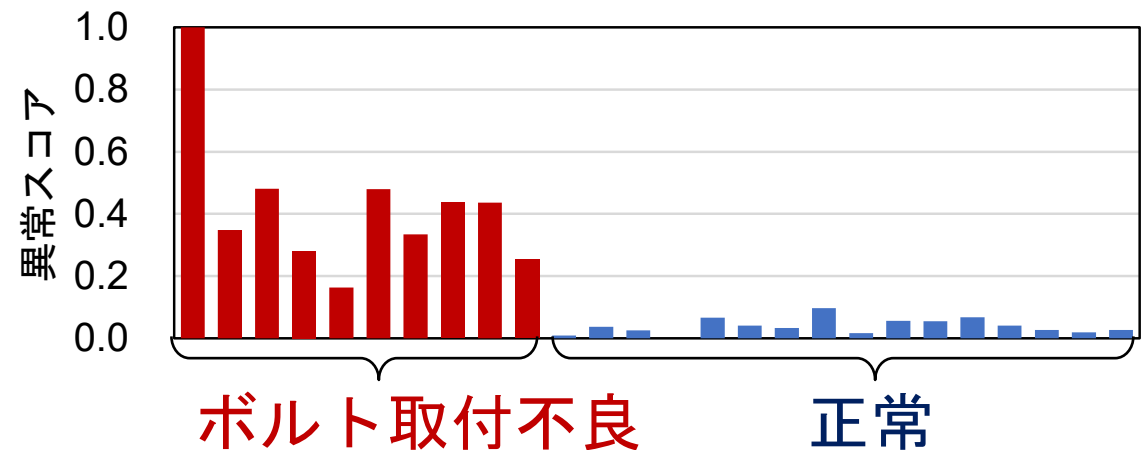
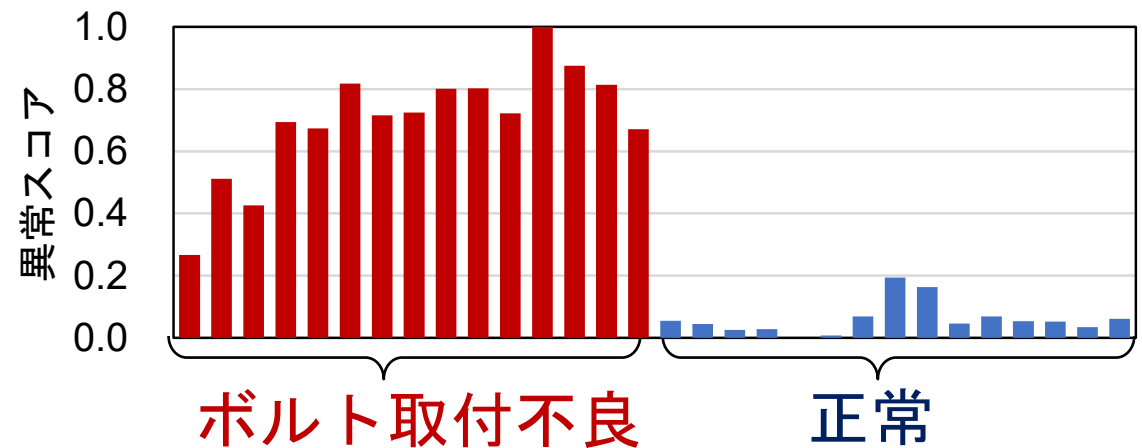
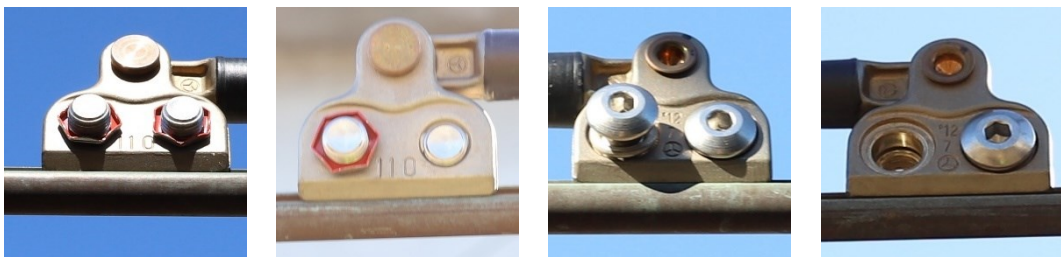
構成部品に分割することで画像内の背景の影響を低減

形状異常 — ボルト取付不良の異常スコア例

フィードイヤーへ適用した例



わたり線装置(交差金具)へ適用した例

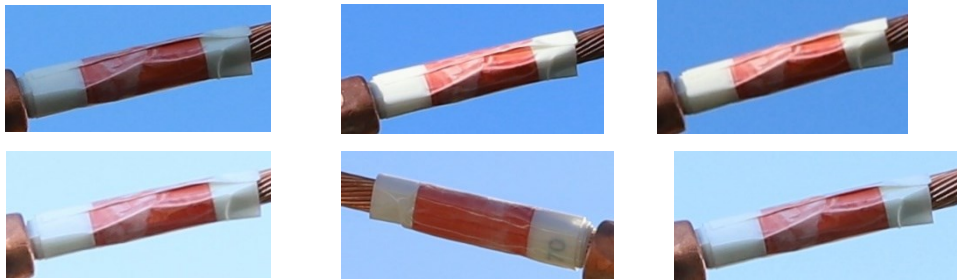


ボルト取付不良の金具は正常な金具に対して高い異常スコアを示した
 ⇒ 異常スコアにしきい値を設定することで異常検出が可能

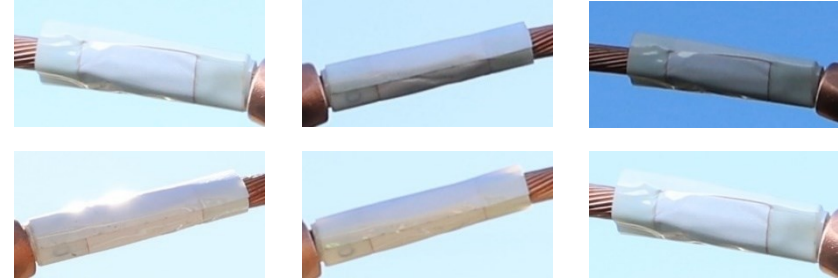
本日の発表

1. 画像処理による架空電車線保全のデジタル化
2. 異常検出の対象設備と異常種別
3. 形状異常検出手法
4. 色異常検出手法
5. 電車線金具異常検出自動化のイメージ
6. まとめと成果の活用

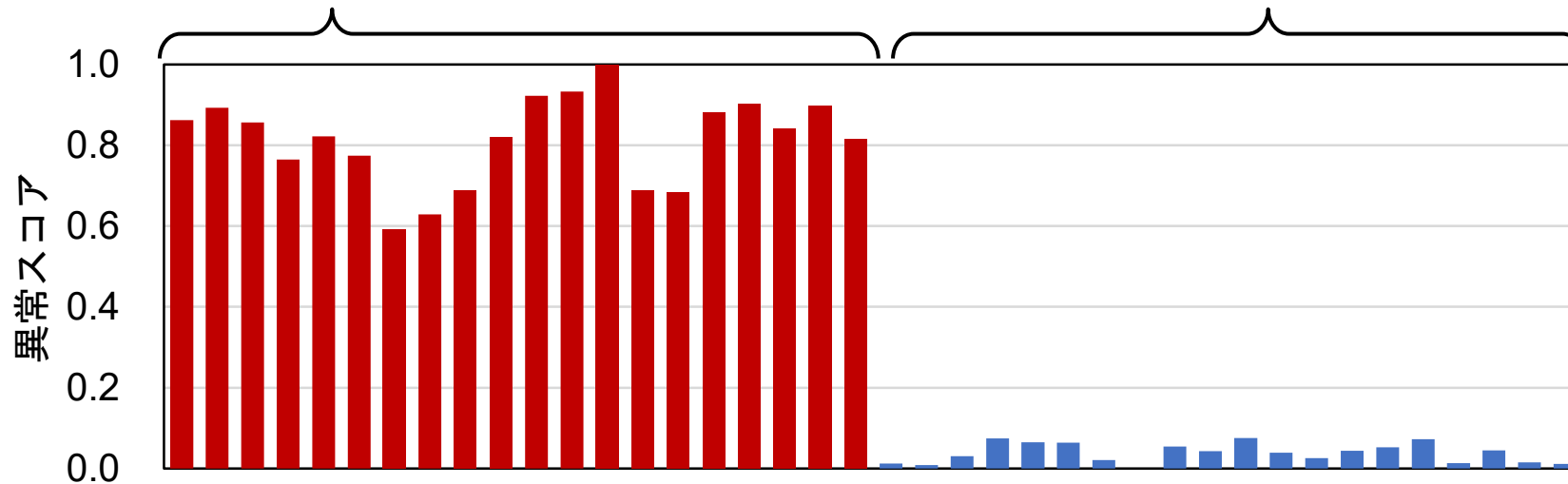
色異常 — 示温ラベル変色の異常スコア例



温度上昇を検知し変色した示温ラベル



未変色の示温ラベル



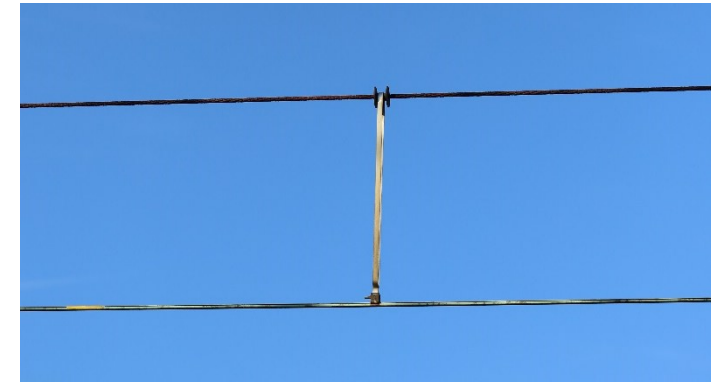
変色した示温ラベルは未変色の示温ラベルに対して高い異常スコアを示した
⇒ 異常スコアにしきい値を設定することで異常検出が可能

色異常 — 腐食状態を把握する手法

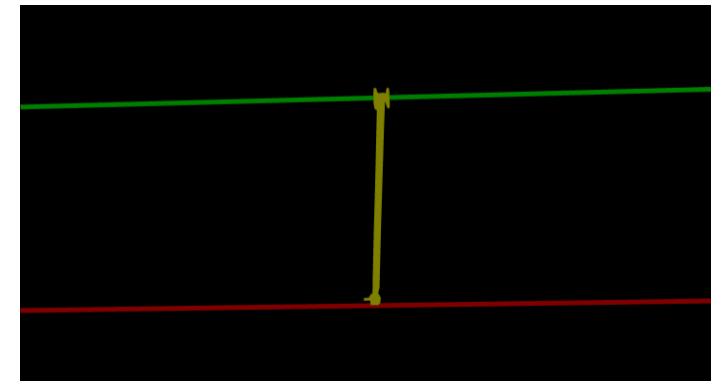
- 色の判別の際は背景の影響を大きく受ける
- そこで、金具を表す画素だけに着目して色情報を抽出したい



- セマンティックセグメンテーションは画像の各領域を深層学習によりラベル付けする手法
- 画像の各ピクセル単位で、①トロリ線、②ちょうう架線、③ハンガ、④コネクタ、⑤背景などのクラス分けを行う
- 架線金具を背景と分離して認識可能



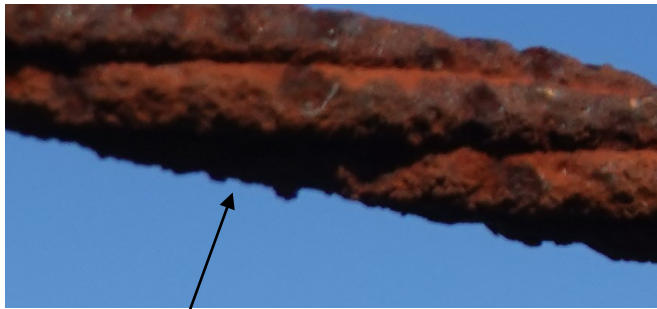
元画像



アノテーション画像

色異常 — 腐食状態を把握する手法

- より線の色を解析し、赤色度合いをスコア化して腐食状態を把握する



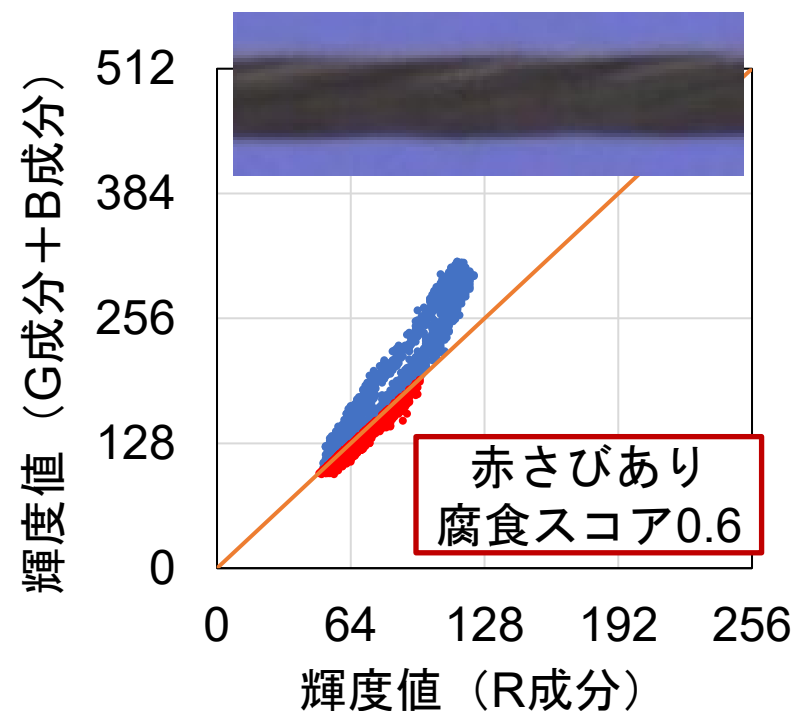
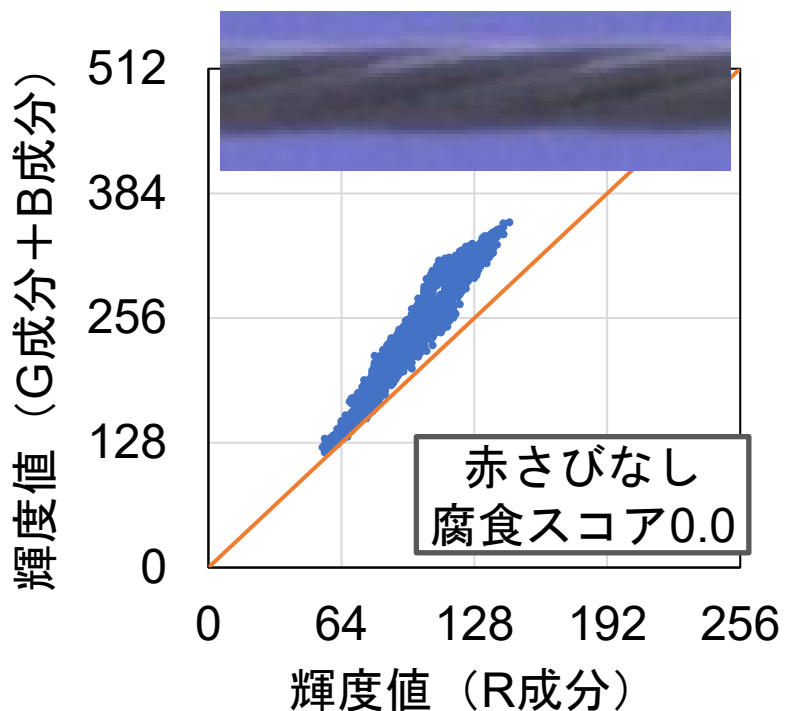
陰影



赤色成分の大きさではより線の明るい部分が支配的
より線全体の色を評価するため、
陰影がある場合にも対応可能な解析手法を検討

色異常 — 腐食状態を把握する手法

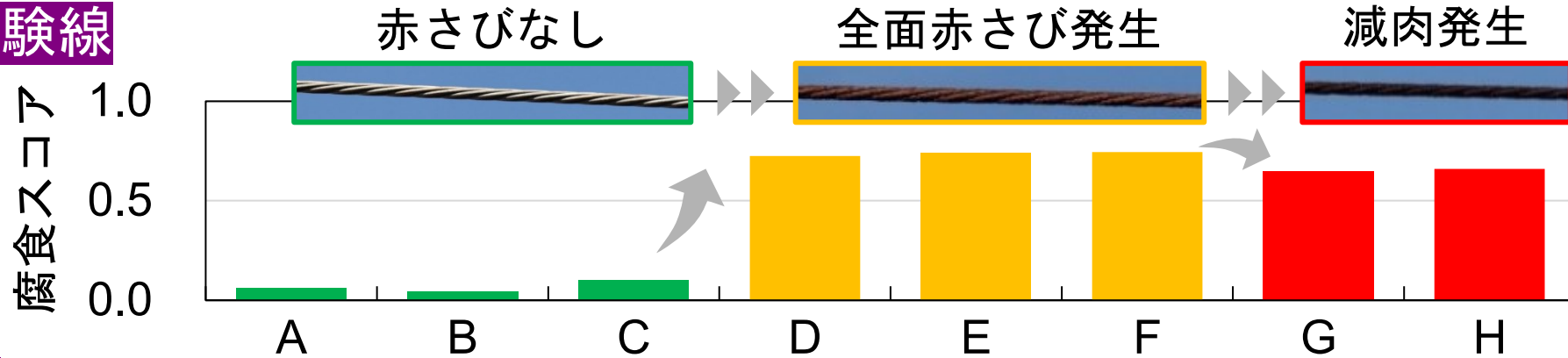
画素値分布解析に基づく陰影があるより線の腐食把握手法を開発



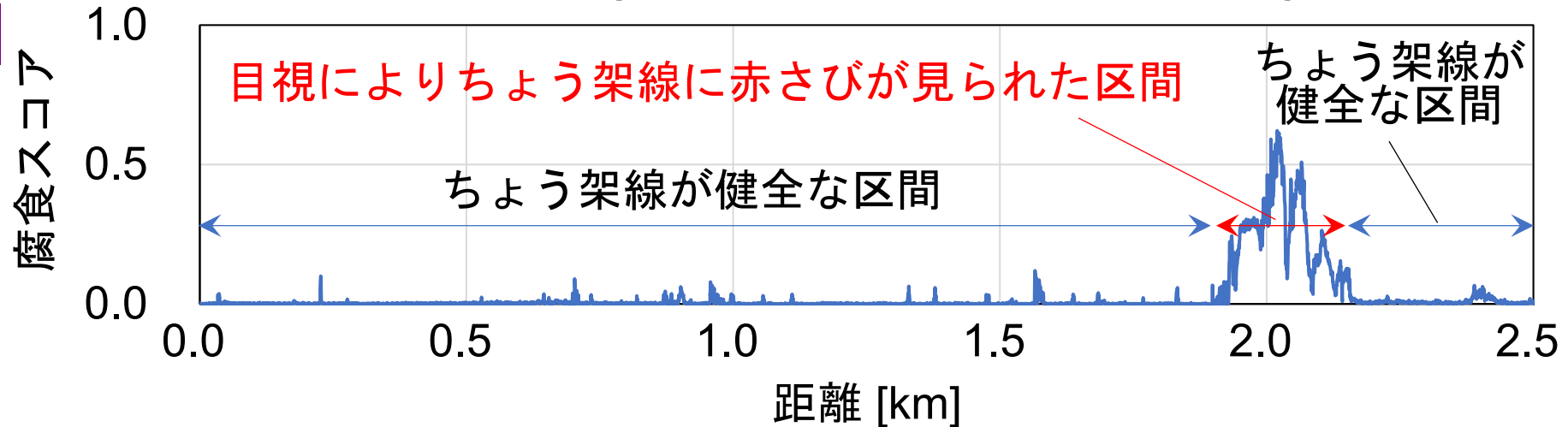
基準線より下に分布するピクセルの割合から
腐食スコアを算出

ちょう架線の腐食程度の把握例

所内試験線



営業線

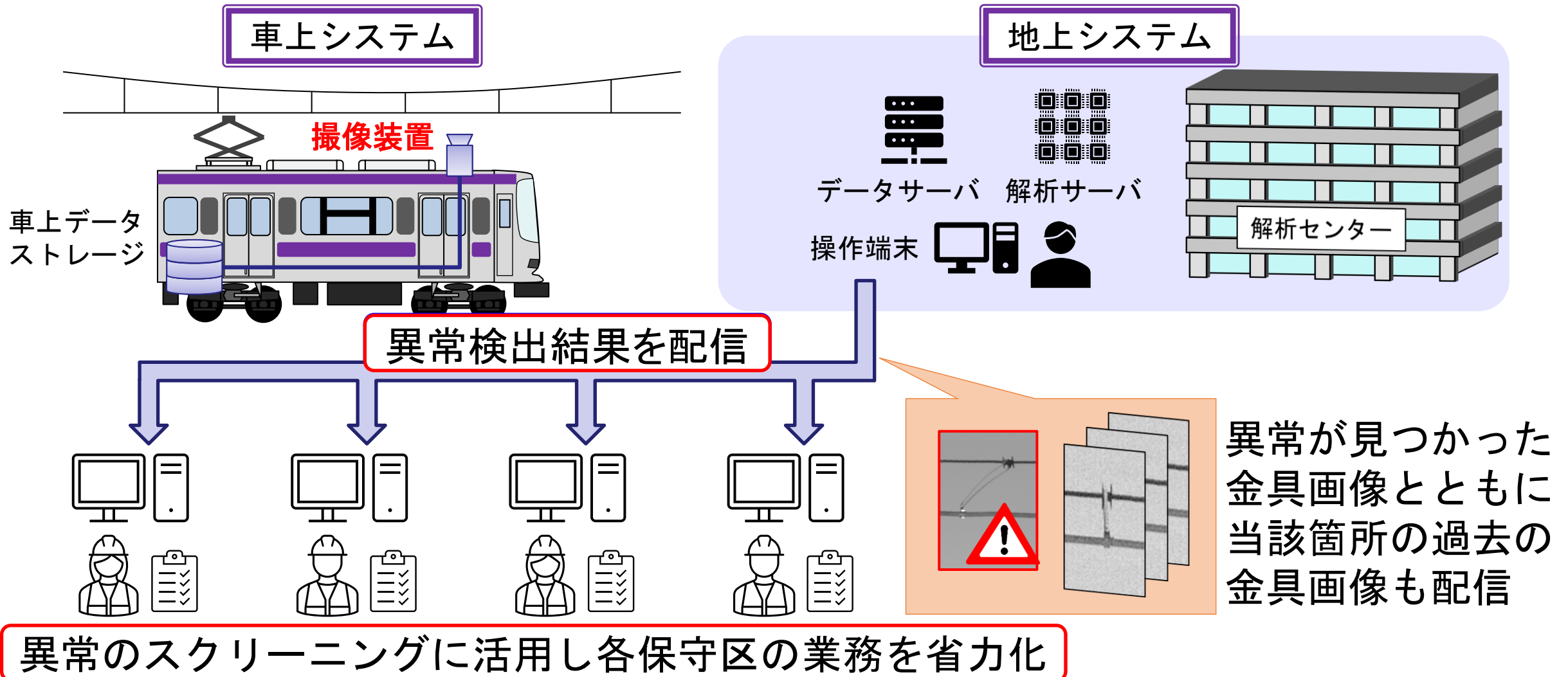


腐食スコアの時系列管理によって腐食の程度を把握
→ ちょう架線取替計画の策定などに活用可能

本日の発表

1. 画像処理による架空電車線保全のデジタル化
2. 異常検出の対象設備と異常種別
3. 形状異常検出手法
4. 色異常検出手法
5. 電車線金具異常検出自動化のイメージ
6. まとめと成果の活用

電車線金具異常検出自動化のイメージ



■ まとめと今後の取り組み

◆ 深層学習を用いて、

- ① 電車線金具の破断やボルト脱落などの4種の形状異常および示温材変色を検出する手法を開発
- ② より線の色情報から腐食スコアを算出する手法を開発

◆ 電車線金具の異常検出試験を行い、

- ① 金具の破断やボルト脱落、示温材の変色などの検出精度を確認
- ② ちょう架線の腐食状態の把握が可能であることを確認

◆ 今後の取り組み

- ① 対象設備の拡大
- ② 異常の予兆や早期劣化の要因を検出する手法開発

成果の活用

- ◆ 車両屋根上から撮影した電車線画像に対して、電車線金具の異常スクリーニング処理や腐食状態把握を導入する際に、技術仕様として活用

本研究の一部は国立大学法人静岡大学、株式会社明電舎と共同で実施

参考文献

- 根津一嘉, 松村周, 網干光雄, 庭川誠, 川畑匠朗, 田林精二:ステレオ画像計測とレーザー測距を併用した架線の非接触位置測定手法, 鉄道総研報告, Vol.28, No.10, pp.29-34, 2014
- 松村周, 根津一嘉, 薄広歩, 川畑匠朗, 渡部勇介:電車線非接触測定装置の在来線車載試験による性能検証, 鉄道総研報告, Vol.34, No.9, pp.11-16, 2020
- 松村周, 根津一嘉:画像とレーザーを用いて電車線を検測する, RRR, Vol.74, No.7, pp.16-19, 2017