

# 車両・電気分野の省人化技術

## 車両技術研究部長 瀧上 唯夫



### 1. はじめに

鉄道車両・電気設備（本講演では、電力および信号保安設備を電気設備と総称する）は、列車が安全に運転することができる状態にするため、その機能を維持する必要がある。一方、生産年齢人口の減少をはじめとした社会的な背景を受けて、安全を確保しつつ、メンテナンス業務を省人化することが以前にも増して求められるようになってきている。

本講演では、車両・電気設備のメンテナンスにおける省人化の方向性や、その実現に向けた鉄道総研における取り組みについて紹介するとともに、近年特に着目されている機械学習等の人工知能（以下、AI）を鉄道分野のメンテナンス業務に適用するにあたっての課題と、その解決に向けての取り組みについても述べる。

### 2. 車両・電気分野のメンテナンスの現状と課題

#### 2.1 メンテナンス体系と現状

車両および電気設備のメンテナンスは、鉄道に関する技術上の基準を定める省令、施設及び車両の定期検査に関する告示（以下、告示）等を踏まえて各事業者が定めた実施基準に基づき実施されており、その体系は定期検査を行うことを基本とし、必要な補修、部品交換等を行うものとなっている。

告示には、一定の条件を満たす車両の部位や電気設備・機器は、検査間隔をあらかじめ定めた周期より延長することができることなどが定められており、近年の技術の進歩を背景に、検査周期の延伸や検査体系を再構築した事例が報告されている<sup>1)2)</sup>。また、車両に搭載されたモニタリング装置等で計測したデータを活用した検査・診断業務の高度化に向けた取り組みも進

められており、これらも省人化に寄与しているものと考えられる。

しかしながら、車両部品の検査の多くは外観の目視、分解した部品の目視や探傷などによって行われているほか、電気設備の検査についても検測車による機械化がなされているものを除くと、列車巡視や徒歩巡回による人手、特に人の目に頼る作業が多く、将来的に技術者を確保していくことが困難になりつつある中、これまで以上にメンテナンス業務の省人化が求められる現状にある。

#### 2.2 省人化の方向性

前節で述べた現状を踏まえ、省人化を実現するための方向性として、本講演では以下の3つの観点を挙げ、次章において関連した取り組みを紹介することとする。

##### (1) 作業の革新：自動化・脱技能化

多くの検査が人手に頼って行われている一方で、技術者・熟練者の確保が困難となりつつあるという現状を踏まえ、作業自体の自動化、および判定の自動化による脱技能化をめざす。

##### (2) 運用・管理の革新：検査・保守間隔の適切化

近年の技術の進歩等の実態が、定期検査の周期の設定に必ずしも反映されているとは限らない現状を踏まえ、時間基準保全（以下、TBM）に基づく検査・保守の周期延伸、あるいは常時モニタリング等の活用による状態基準保全（以下、CBM）への移行をめざす。

##### (3) 画像・AIの活用による加速

上記の(1)(2)で示した革新を加速するため、カメラ画像を含むセンサー情報の活用、さらにはAIが物体認識や状態判定を担う技術については、鉄道のメンテナンス業務への早期導入をめざす。なお、本項目に関する取り組みは、車両・

電気設備に限定されるものではなく、他分野にも共通する部分が多いが、本講演内で述べる。

### 3. 省人化に向けた鉄道総研の取り組み

本章では、2.2節で示した省人化の方向性に沿って、鉄道総研の取り組み事例を紹介する。

#### 3.1 自動化・脱技能化

##### 3.1.1 床下撮影装置による車両外観異常検出<sup>3)</sup>

車両の検査のうち、列車検査（仕業検査）は、列車として運転できる状態（在姿）で行われ、ブレーキなどの機能を確認するほか、主要部分の状態を主に作業員が外観を目視することで確認している。外観検査箇所は床下機器に集中していることから、車両を側面から撮影し、外観の異常を自動で検出する装置を開発した（図1）。

車両入換等、低速で走行する車両を対象に、ドップラーセンサーで走行速度を計測しながら、ラインカメラで側面を連続撮影して記録する。異常検出処理では、まず検査対象とする領域を自動的に抽出したうえで、あらかじめ保存しておいた正常時の画像と比較し、差分が大きければ異常として検出する。本装置の導入により、作業員が車両の近くまで行かずに事務所等に

ながら検査が可能になることが期待され、省人化に貢献できるものと考えている。

##### 3.1.2 台車部品の非破壊検査におけるきずの自動検出<sup>4)</sup>

台車部品は走行中に繰り返し受ける負荷によって微細なき裂が発生する恐れがあることから、定期的に台車を分解したうえで、磁粉探傷や超音波探傷などの非破壊検査が行われている。このうち、従来は手作業で行われ、熟練技術を要する磁粉探傷による台車枠のきずの検出を、画像とAIを活用して自動的に抽出する手法の開発を進めている（図2）。

台車枠溶接部の検査対象箇所を磁化しながら蛍光磁粉を吹き付けて吸着させ、ブラックライトを当てた状態の画像をカメラで撮影し、多数のきずあり・きずなし画像をAIに学習させたモデルを作成した。学習済みモデルに対して性能評価を行ったところ、現時点では溶接部の表面きずを70～80%程度の成績で検出できることを確認した。

実用化にあたっては、精度向上を図るなどの課題が残されているものの、本手法は統一的なきず判定結果を提供できるため、脱技能化に貢献できると考えているほか、将来的にはロボット化も見据え、検査業務自体の自動化もめざした取り組みを進めている。

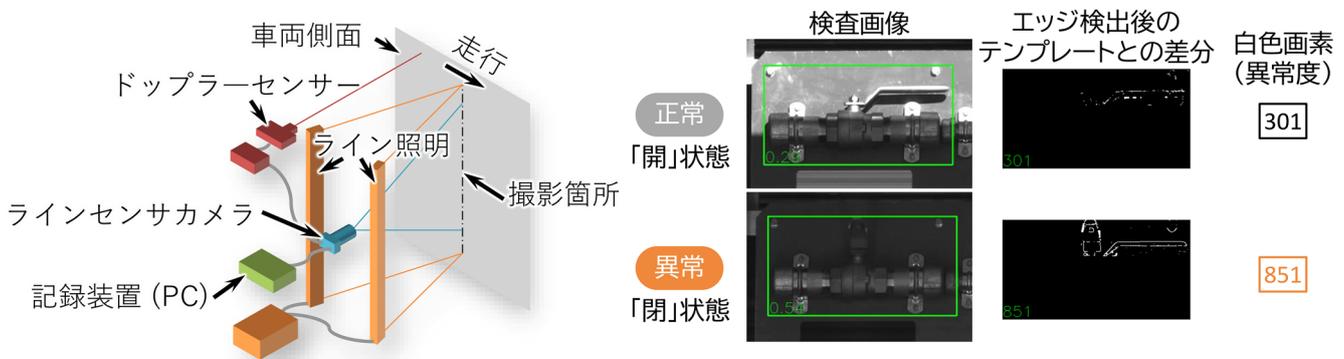


図1 床下撮影装置による車両外観異常検出（空気配管コックへの適用例）

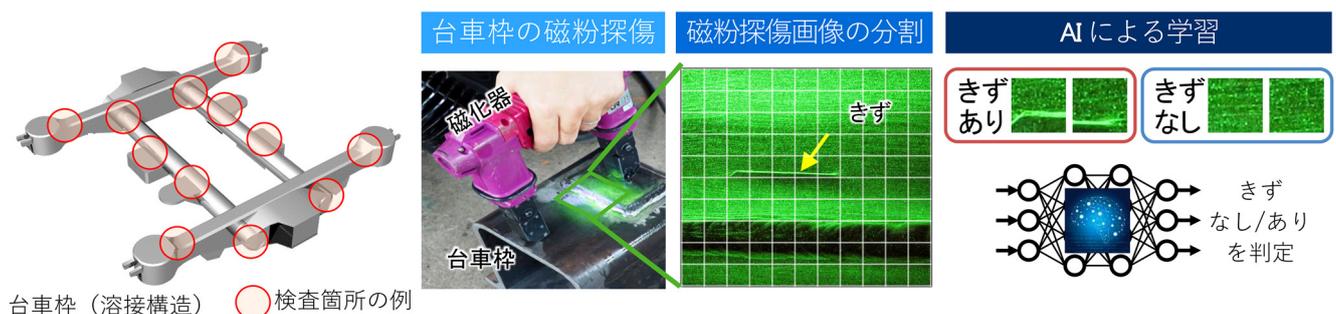


図2 磁粉探傷におけるきずの自動検出

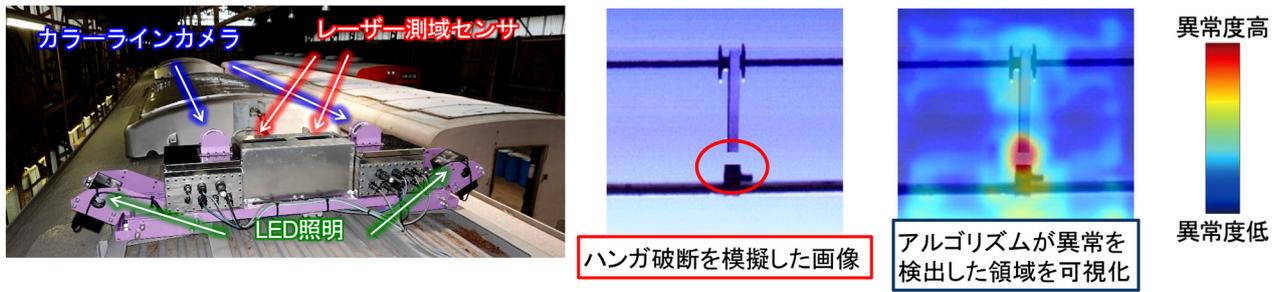


図3 3次元計測と画像解析を用いた架線金具の異常検出

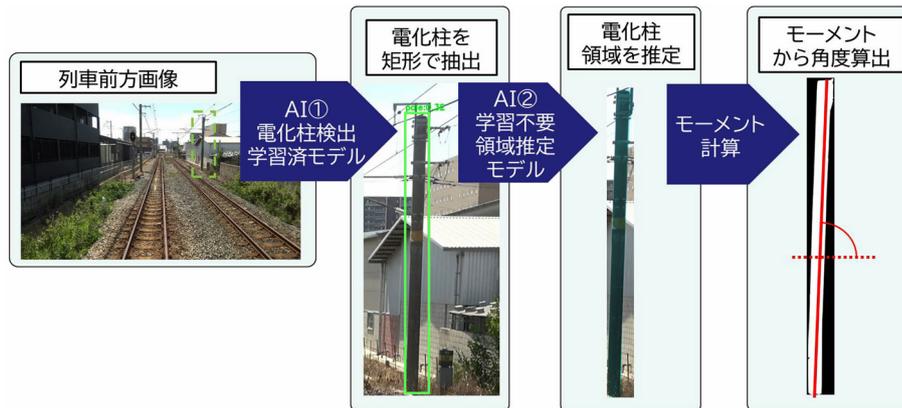


図4 車載カメラによる沿線設備の診断システム(電化柱の傾き推定への適用例)

を超えて共通で利用可能とするために必要となる「列車位置(キロ程)の推定」「撮影画像から俯瞰画像への変換」「線路方向の長尺画像の生成」といった機能群を、基盤モジュール化したうえで、個別の検査に必要な診断システムに組み込んで活用することをめざしている。

基盤モジュールの詳細については文献6)に説明を譲ることとし、ここでは沿

### 3.1.3 3次元計測と画像解析を用いた電車線検出と架線金具の異常検出<sup>5)</sup>

車両の屋根上にカメラなどの撮影装置を設置し、電車線の位置の計測や設備の異常を検出する装置を開発した(図3)。

LED照明で明るさを確保したうえで、検査対象とする電車線に向けた2台のラインカメラとレーザー測域センサ(LiDAR)の組み合わせにより、ステレオ計測の原理によって、対象とする線条などの位置を高精度に取得するとともに、画像を連続的に取得する。さらに取得した画像をAIに学習させることで、ハンガの位置を検出するとともに、その異常度を判定し、可視化することが可能である。図3右は、形状による判定結果より、ハンガ下部の破断を検出した例であるが、その他、色による判定結果からちょう架線の腐食の度合いを検出するなど、種々の異常を検出できる機能を開発しており、定期検査や判定の自動化によって、省人化に寄与するものと考えている。

### 3.1.4 車載カメラによる沿線設備の診断システム<sup>6)7)</sup>

車載カメラにより、走行中の車両で撮影した前方映像を、沿線設備の診断に活用するシステムの開発を進めている。本システムは、保線、電気といった系統を

線の電化柱傾き推定への活用事例を図4に示す。本手法は、2種類のAIモデルを組み合わせる利用していることが特徴で、まず列車前方画像から電化柱を検出するために事前に学習させたAIモデル①で、電化柱の画像内での位置を矩形領域として抽出する。次に、AIモデル②により電化柱そのものが占める領域を画素単位で推定する。なお、AIモデル②はSegment Anythingと呼ばれるモデルを採用することで、矩形情報から領域を推定するための追加学習を不要とし、学習にかかるコストを抑える工夫をしている。最後に、得られた領域情報から画像モーメントを計算し、電化柱の傾斜角度を算出する。これまでの検証では、線路直角方向の電化柱の傾きを推定できる見通しを得た。本手法の採用により、定期検査、判定の自動化が可能となり、省人化に寄与することが期待できる。

## 3.2 検査・保守間隔の適切化

### 3.2.1 車上モニタデータの車両機器異常検出への活用<sup>8)</sup>

近年、走行中に機器の稼働状態等に関するモニタデータを蓄積できる機能を有する車両が増えており、これらのデータを活用して、機器の異常や故障を検出

するニーズが高まっている。これに関する取り組みの例として、車両モニタデータから、エンジンのオーバーヒートの予兆を捉えるため、エンジン冷却水温度の異常を検出する手法を考案した(図5)。

本手法では、まず車両速度やエンジン回転数、外気温度等のモニタデータとエンジン冷却水温度の関係をAIに学習させ、走行中のモニタデータから冷却水温度を推定するモデルを構築した。通常、AIを学習させるためには、異常時のデータが必要となるが、一般に機器が故障することはまれで、異常時のデータを取得することは容易でないことを考慮し、本手法は正常時のデータのみからモデルを構築したことが特徴である。

実稼働状態において、冷却水温度の実測値とAIが出力する推定値の差異に基づき異常度を算出したところ、機器が正常状態の場合と比較して、異常状態の場合に異常度の値が大きくなる傾向が確認された。した

がって、異常度に一定のしきい値を設けることで、オーバーヒート発生の予兆を捉えることが可能となる。

そのほかの適用事例として、空調機器のコンプレッサの異常などを検出できることも確認しており、今後対象範囲を拡大することで、TBMからCBMへの移行の推進に寄与する手法であると考えている。

### 3.2.2 信号用沿線電子機器の寿命評価<sup>9)</sup>

屋外に設置されている信号用沿線電子機器は、劣化の要因や傾向を把握することが難しいため、使用環境や機器の種類によらず、一定時間の経過により一律に交換されるのが一般的である。これに対して、日本全国で信号用沿線電子機器が使用される環境と故障の実態を調査する課題に取り組んだ。具体的には、部品の劣化に支配的なストレス要因が電圧・電流と温湿度であることを明らかにするとともに、電子機器を構成する電子部品自体の寿命と、温度変化の影響を受ける基

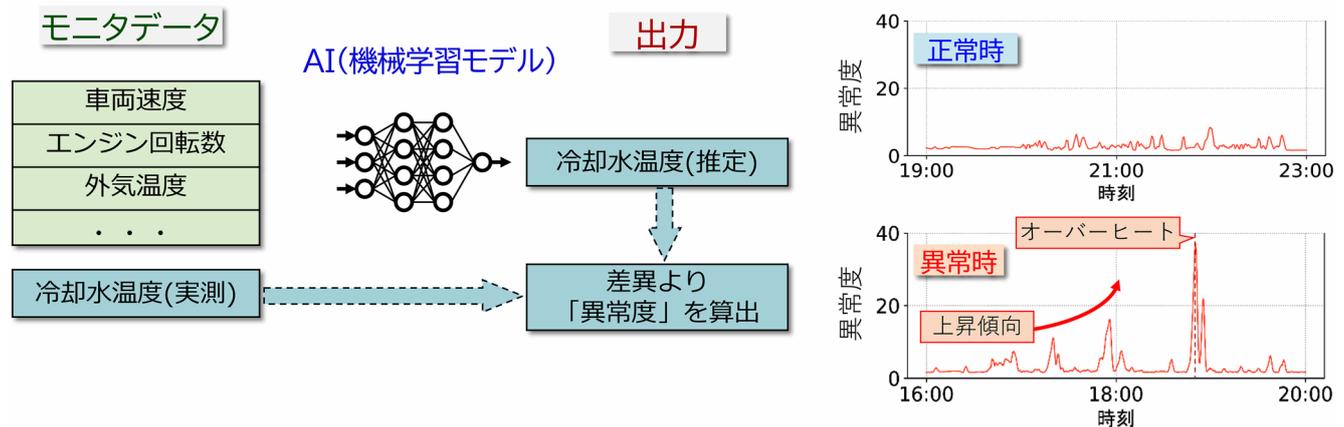


図5 車上モニタデータの車両機器異常検出への活用(エンジンオーバーヒート予兆検出への適用例)

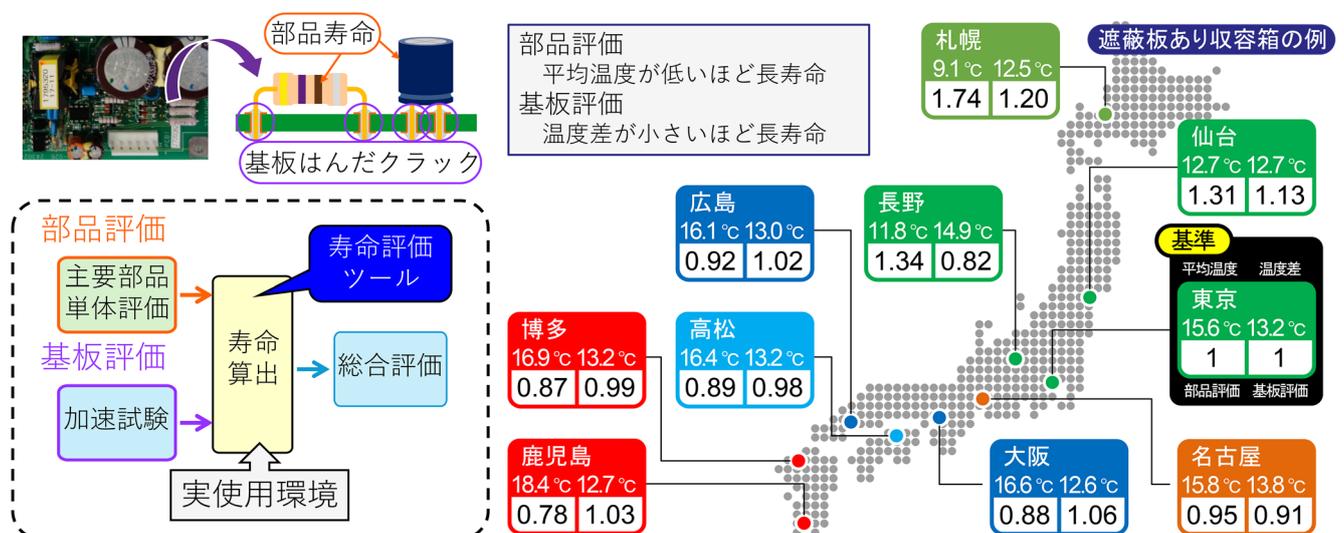


図6 信号用沿線電子機器評価手法(踏切用列車検知装置への適用例)

板のはんだ接合部にクラックが発生するまでの寿命を評価する手法および評価ツールを開発した(図6)。

具体的な活用例として、鉄道総研の所内試験線の踏切用列車検知装置を例に、直射日光を遮る収容箱の遮蔽板の有無や、実際に測定した温度の影響を加味し、評価を試行したところ、遮蔽板の有無など、使用条件・環境の違いが寿命に与える影響を定量的に算出することが可能となった。そのうえで、日本全国の主要都市の気温条件を用いた試算等を実施し、気温が低い地域や日間の温度差が小さい地域では、寿命予測値が長くなる傾向が確認できた。これらの成果を活用することで、地域の環境に応じた適切な機器の交換 時期の検討が可能となるほか、実運用中に温湿度を計測して寿命予測値を随時更新することで、CBMの実現にもつながるものと考えている<sup>10)</sup>。

### 3.3 画像・AIの活用

#### 3.3.1 AI活用の現状と課題

一般に、AIが担う機能は、未知の対象の種類や名称、状態を認識・判断する「分類」、与えられた条件やデータから未知の状態での量を推定する「予測」、そして、近年注目されている「生成」などに大別される。

これらのうち、「分類」と「予測」については、以前からメンテナンスへの活用の取り組みが進んでおり、前述の紹介事例で活用したAIも、そのいずれかに該当する。なお、「生成」については、近年、文章や絵だけではなく、プログラムソースの生成も可能となっており、今後、点検ポイントや補修に関するアドバイス情報の生成など、メンテナンスへの活用も本格化していくものと考えられる。

このようなAIの性能の劇的な向上につながった技術として機械学習があり、中でも、計算機の性能向上などにともない実用が可能となったディープラーニングが挙げられる。このディープラーニングでは、十分な学習データを準備する必要があるが、通常、実フィールドで得られるのは、多量の正常データと少量の異常データであるという制約の中で、大量の良質な学習データをいかに効率よく準備できるかが重要となる。

また、AIは一般に内部構造がブラックボックス化されており、判断根拠が明確に示されないことが多い。学術的にはExplainable AI(説明可能なAI)などの研究が進んでいるが、産業界に適用しうる手法の確立にはまだ至っていない。このような中で、AIの活用範囲を広げていくためには、AIの性能を適切に評価し、精度や信頼性の向上につながる実用的な手法の開発も望まれる。

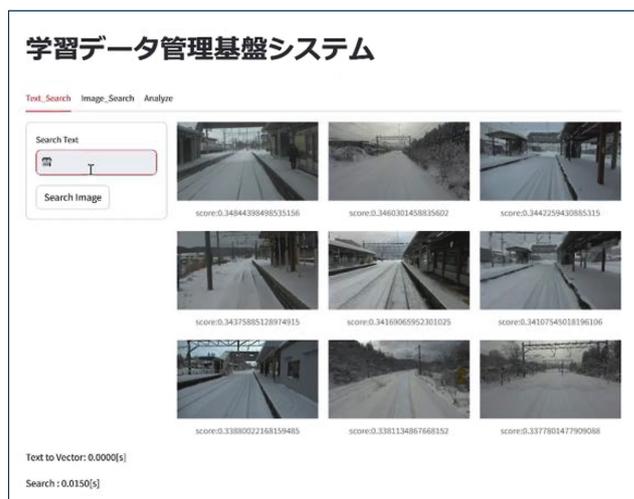


図7 画像データ管理基盤システム  
(「雪」をキーワードとして入力した場合の出カイメージ)

#### 3.3.2 学習データ管理基盤システム

AIの学習に用いるデータの量・質を確保するための取り組みとして、撮影した前方映像を対象とした「学習データ管理基盤システム」の開発に取り組んでいる(図7)。本システムは、様々な条件で撮影された画像を集約して一元管理するとともに、目的に応じた適切なデータセットを生成してAI学習用に提供することをめざしたものである。

一方で、画像の量が増えると、収集した画像の中に対象物の画像が存在しても、データセットに含める画像の探索や抽出に手間がかかり、有効活用することが難しくなる。そこで本システムには、手作業で画像にラベルを付与することなく、キーワードによる「テキスト検索」や、指定した画像に基づく「類似画像検索」によって、関連する画像を自動で抽出して出力することで、データセットの生成を支援する機能を持たせた。さらに、データセット内で、指定したキーワード等に関連したデータの内訳を算出する機能も付加し、各種条件の網羅性の確認等に利用することも可能としている。

以上の機能を活用し、様々な条件を網羅したデータセットを生成してAIの学習に適用することで、AIの性能向上に寄与できるものと期待できる。また、この学習データ管理基盤は、事業者等の間で学習データを共有するためのプラットフォームの開発にも活用可能である。

#### 3.3.3 AIの性能・信頼性向上に向けた取り組み

AIの性能・信頼性向上に向けた取り組みの一環として、車載カメラで撮影した前方画像による物体認識を対象とし、AIの判断ミスが発生した場合に、以下

を順次確認することで、原因を特定する手法を開発した(図8左)。これにより、原因に応じた対策を提示することが可能になると期待される。

(1) 入力画像

主な要因：明るさ不足、ピンボケ、ズーム不足など  
対策例：カメラの設定変更

(2) AI構造

主な要因：特徴量の抽出性能不足  
対策例：別構造のAIを採用

(3) 学習データ

主な要因：学習データに含まれる条件不足  
対策例：異常(特殊条件)データの収集、生成AIの活用

また、AIが判断するにあたって「視線」がどこにあるかを可視化したり、判断過程における根拠(具体的な設備の箇所と状態)を言語化する手法の開発にも着手している(図8右)。

これらは難易度の高い取り組みであるが、実現すればAIの性能の向上につながるほか、判断根拠の把握が容易になることなどから、車両、電気分野にかかわらず、メンテナンス業務へのAI導入の加速に寄与するものと期待される。

4. おわりに

本講演では、車両、電気(電力、信号保安)設備のメンテナンスにおける省人化の方向性として、

- (1) 作業の革新：自動化・脱技能化
- (2) 運用・管理の革新：検査・保守間隔の適切化
- (3) 画像・AIの活用による加速

の3点を挙げ、その実現に向けた鉄道総研における取り組みについて紹介するとともに、AIを鉄道分野のメンテナンス業務に適用するにあたっての課題、その解決に向けての取り組みについて述べた。今後も、関係省庁、鉄道事業者、研究機関・大学やメーカー等と連携し、省人化に寄与する研究開発をはじめとした取り組みを推進する所存であり、引き続きご支援とご協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 一木剛：JR東日本の新しい車両保全体系(新保全体系)の概要, R&m, Vol.10, No.10, pp.17-20, 2002
- 2) 中倉康喜, 歌野敦夫：全般検査・台車検査周期延伸に向けた取り組み, R&m, Vol.30, No.10, pp.42-45, 2022
- 3) 小島崇, 風戸昭人, 宮原宏平, 鶴飼正人：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
- 4) 台車部品の非破壊検査におけるきずの自動抽出手法, 2024年度鉄道総研技術フォーラム  
<https://www.rtri.or.jp/events/forum/2024/is5f1i0000002efx-att/forum2024-B10.pdf>
- 5) 電車線画像検測装置, 2024年度鉄道総研技術フォーラム  
<https://www.rtri.or.jp/events/forum/2024/is5f1i0000002efx-att/forum2024-A04.pdf>
- 6) 長峯望, 前田梨帆, 合田航, 坪川洋友：車載カメラによる沿線設備の管理・診断技術, JREA, Vol.67, No.3, pp.28-31, 2024
- 7) 前田梨帆, 合田航, 長峯望, 羽月孝太, 鶴直人：列車前方画像を用いた電化柱の傾斜推定手法, 電気学会自動車/交通・電気鉄道合同研究会資料, pp.7-12, 2023
- 8) 横内俊秀, 高重達郎, 近藤稔：鉄道車両におけるモニタデータを用いた機器の異常検知, 鉄道総研報告, Vol.36, No.2, pp.23-28, 2022
- 9) 国崎愛子, 藤田浩由, 野村拓也, 石井琢：鉄道沿線信号設備における電子機器の寿命予測手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.7, pp.11-16, 2020
- 10) 藤田浩由, 椿健太郎, 高崎建, 往古直之：使用環境センシングによる信号用電子機器の寿命予測手法, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.37-44, 2022

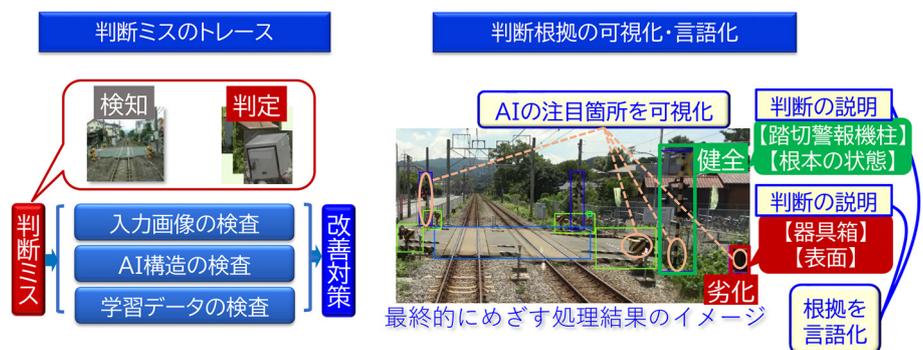


図8 AIの判断ミストレース手法および判断根拠の可視化・言語化イメージ