

# 画像処理技術とAIで 軌道部材の状態を自動で評価する



**坪川 洋友**  
Yosuke Tsubokawa  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室長



**大石 知希**  
Kazuki Oishi  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
研究員



**長峯 望**  
Nozomi Nagamine  
情報通信技術研究部  
画像解析研究室長



**前田 梨帆**  
Riho Maeda  
情報通信技術研究部  
画像解析研究室  
研究員

## はじめに

鉄道における軌道部材の検査や台帳整備などの維持管理業務は、一般的に保線技術者が現地に出向いて目視により実施されています。しかし、昨今の人口減少や少子・高齢化の進展により今後の保線技術者の確保や検査技術の継承が難しくなることから、業務の効率化や省力化が強く求められています。このような背景のもと、列車前方に市販のビデオカメラを設置し、撮影した列車前方画像から画像処理により床下画像のように俯瞰した画像（以下、「俯瞰画像」）を

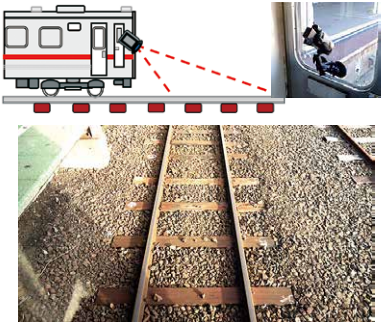
作成し、その画像にディープラーニングを適用して木まくらぎの検出と劣化度判定を自動で行う「木まくらぎ劣化度判定システム」の開発を進めてきました。

本システムで作成する俯瞰画像は、木まくらぎ以外の部材状態の確認も可能であることから、軌道部材状態を一元的に把握することおよび現場で管理している台帳整備を効率化するために、ディープラーニングを用いて木まくらぎ以外のまくらぎやレール締結装置種別を自動で識別する機能を開発しました。また、軌道に設置され

図1 軌道部材状態評価システムの概要

## 現地での作業

**軌道の撮影**



- 車両前頭から撮影

## 事務所での作業

**画像処理・AI判定**



- 画像処理（俯瞰画像作成）
- AIモデルによる判定

**判定結果の確認**



- 専用ビューアーで表示
- エクセルデータ出力

たデータデポ<sup>®</sup>を検出して軌道検測車と同じ方法でキロ程を補正する機能を開発しました。現在、これらの機能を実装した「軌道部材状態評価システム」の開発を進めています。

### 軌道部材状態評価システムの概要

軌道部材状態評価システムの概要を図1に示します。本システムでは、低コストかつ簡易な手法で撮影を行うため、市販の4K解像度以上のビデオカメラ（またはスマートフォンなどの携帯情報端末）と吸盤式の固定マウントを用いて、列車前方の窓（車内）から軌道を撮影します。その後、事務所において、取得した列車前方画像に対して、図2に示すように、台形の2次元画像を長方形に変換する射影変換という画像処理手法を用いて、列車前方画像を俯瞰画像に変換します。具体的には、列車前方画像では、画像手前から奥にかけて物体が細くなり台形状に映ります。そのため、射影変換では必要とする台形の領域（abcd）の座標4点から、実際のまくらぎの縦横比と合致するように長方形（abc'd'）の座標4点を求めることで俯瞰画像を作成しています。

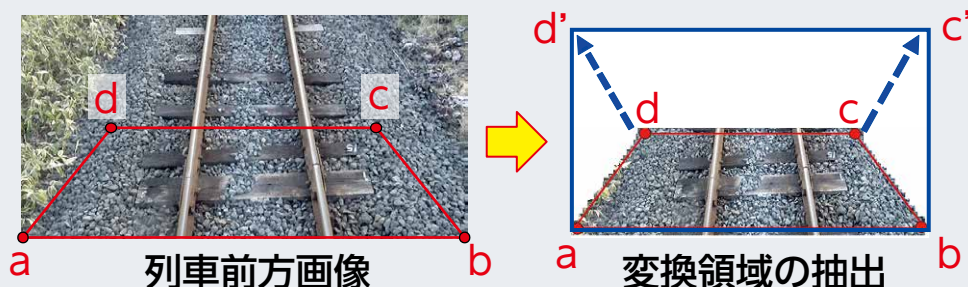
#### データデポ

データデポは、軌道のまくらぎなどに固定され、保守・管理に必要な位置情報（キロ程）を有する地上子と、車両の床下に搭載された車上子で構成されるシステムです。軌道検測車などにおいては、車両走行中に車上子が地上子の設置箇所を通過した情報を入手することで、位置情報を入手し、測定データの位置補正に活用されています。

この変換処理では、解像度の良い画像手前のまくらぎを変換対象とし、かつ、縦横比を実形状に合わせることで、現場に近い敷設状態の画像を作成します。これによって、保線作業員は通常の検査業務に近い目線で軌道部材状態を確認することができるとともに、画像上の位置によらず軌道部材の形状が統一されるため、列車前方画像に比べてディープラーニングの学習モデルの構築が容易となります。

本システムでは、俯瞰画像に対してディープラーニングを用いて、①木まくらぎの検出と劣化度判定を行う機能、②木まくらぎ以外のまくらぎやレール締結装置種別を自動で識別する機能（以下、「軌道部材種別識別機能」）、③データデポを検出して軌道検測車と同じ方法でキロ程を補正する機能（以下、「データデポによる位置補正機能」）を実装しています。

図2 射影変換による俯瞰画像の作成



射影変換画像（俯瞰画像作成）

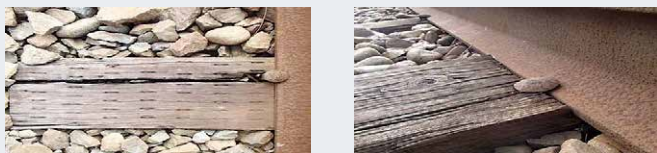
## A1 (車両が接触するおそれ)



## A2 (軌間保持機能低下)



## B (まくらぎの機能低下)



## C (軽微な損傷)



## D (良好)



## 未判定



図3 木まくらぎの劣化度判定標準

### 軌道部材状態評価システムの機能

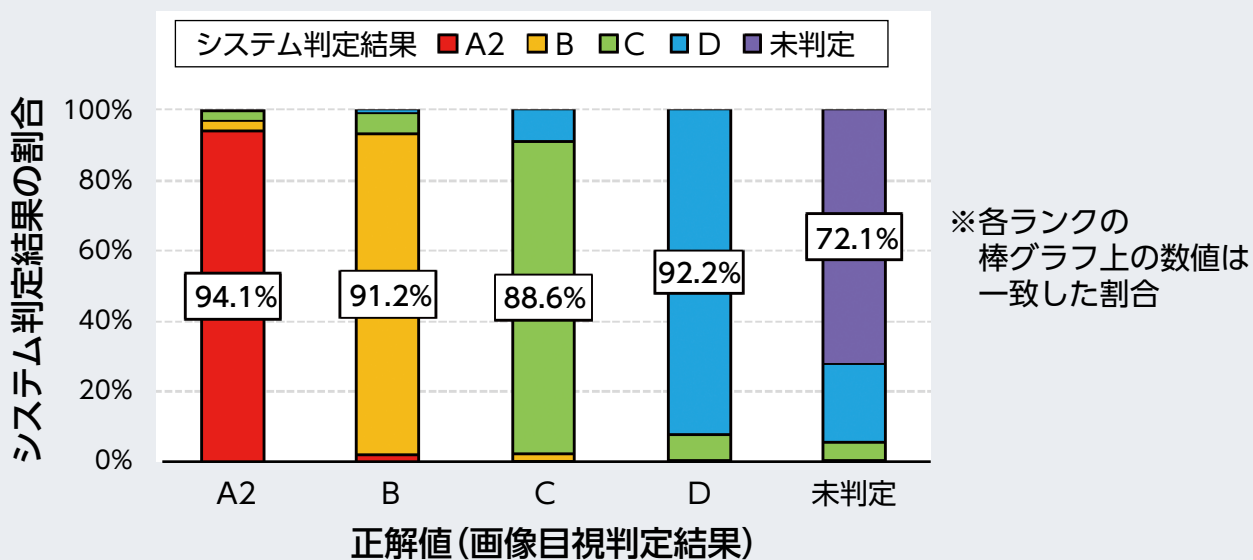
#### ■ 木まくらぎ劣化度判定機能

木まくらぎ劣化度判定では、ディープラーニングにより図3に示す判定標準(劣化度A1～D, 未判定)に基づいた劣化度判定モデルを構築し、これを俯瞰画像に適用して木まくらぎの検出と劣化度判定を行います。劣化度判定モデルの作成においては、現場には劣化度A2やBなどの不良まくらぎの数が少ない(劣化度A1の不良まくらぎは建築限界支障のおそれがあるため、現場にはほとんど存在しておらず自

動判定の対象外としています)ことから、撮影した画像の「明るさ」と「コントラスト」の強弱を変更する色調処理を行って、色調の異なる4パターンの画像を作成することで、不良まくらぎの学習データを効率的に得るように工夫しています。木まくらぎ劣化度判定モデルは、約18万枚の画像を用いて約35万本のまくらぎ(劣化度情報の内訳はA1:61本, A2:21,329本, B:68,520本, C:78,779本, D:164,036本, 未判定:12,812本)を学習しました。

木まくらぎ劣化度判定モデルの精度について、

図4 木まくらぎ劣化度判定の精度(保線技術者が俯瞰画像を確認して判定した結果との比較)



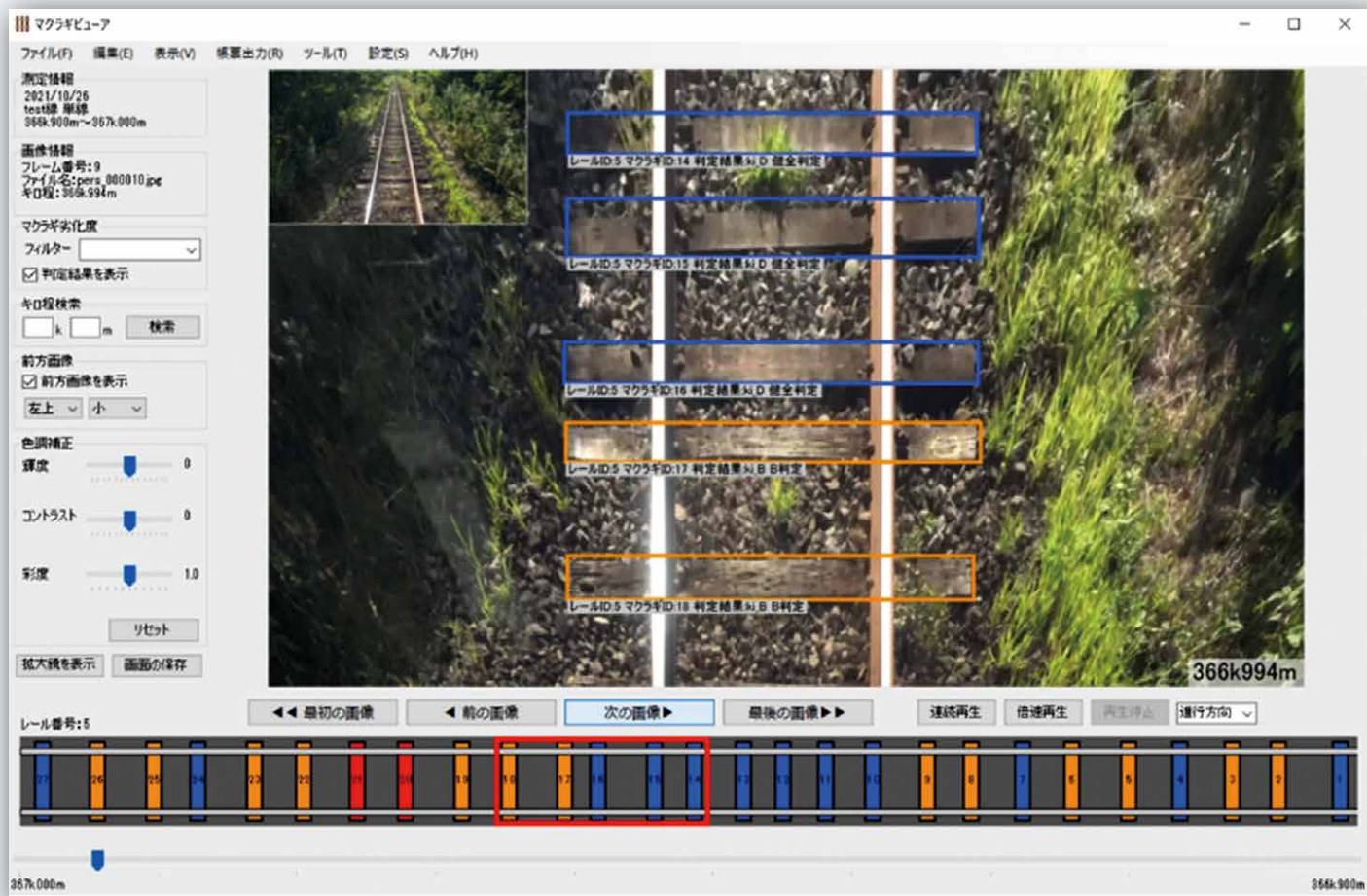


図5 木まくらぎ劣化度判定結果の表示例

劣化度判定モデルを作成した区間とは異なる営業線において撮影した16,111本の木まくらぎを対象に検証を行いました。その結果、まくらぎの検出精度は検出率99.5%（バラストなどでまくらぎ表面が顕著に覆われている条件を除くと100%）であり、また、保線技術者が俯瞰画像を確認して判定した劣化度を正解値（画像目視判定結果）とした場合の判定精度は、図4に示すように90%以上の精度で木まくらぎの劣化度を自動判定できることを確認しました。

木まくらぎの劣化度判定結果を専用のビューアーにより表示した例を図5に示します。ビューアー上では、まくらぎ1本ごとに劣化度に応じた色で出力されるため、鉄道事業者は軌間内脱線の要因となることのある、木まくらぎの連続不良箇所を視覚的かつ容易に把握できます。

## 軌道部材種別識別機能

軌道部材種別については、図6に示す軌道部材（レール締結装置2種類、まくらぎ種別3種類）を対象に種別を識別するモデルを構築しています。レール締結装置については、さまざまな種別がありますが、俯瞰画像から形状の差が比較的容易に視認できる「線ばね型締結装置」と「板ばね型締結装置」の2種類に大別してモデルを構築し、判定することとしています。分岐器用まくらぎについては、分岐器の種別や番数に応じてモデルを構築しております。各軌道部材の学習タグ数（学習データ数）については、線ばね型締結装置は40,537個、板ばね型締結装置は21,733個、PCケーブル防護用まくらぎは252本、TPCまくらぎは6,551本、分岐器用まくらぎは1,839本です。

軌道部材種別識別モデルの精度について、識

## レール締結装置

<線ばね型締結装置>学習タグ数：40,537

PCまくらぎ用



弾性直結軌道用



継目用



<板ばね型締結装置>学習タグ数：21,733

直結軌道用



PCまくらぎ用



継目用



木まくらぎ用



## まくらぎ

<PCケーブル防護用まくらぎ>学習タグ数：252



<TPCまくらぎ>学習タグ数：6,551



<分岐器用まくらぎ>学習タグ数：1,839



別モデルを作成した区間とは異なる2.4kmの線路延長に対して検証を行いました。その結果、表1に示すように、すべての軌道部材種別において95%以上の高い精度で検知・識別可能であることを確認しました。

## データデポによるキロ程補正機能

鉄道設備は、その設置位置についてキロ程を基準に維持管理されているため、本システムにより検査をする際には、俯瞰画像の各フレームに対してキロ程を付与する必要があります。本システムでは、画像の移動距離の累積を行うとともに、俯瞰画像において軌道変位などの軌道状態を測定する軌道検測車の位置補正に使用されるデータデポ(図7)を検知し、事前にデータベース化されたデータデポの設置キロ程に補正しています。

データデポによるキロ程補正のイメージを図8に示します。ここで、データデポの検知区間については、設置間隔の実態を考慮して、データベースに登録しているキロ程の前後200mずつと設定します。例えば、現地キロ程15k000mに設置されているデータデポについて、画像キロ程上は15k030mで検知した場合を考えると、15k000mのデータデポ

図6 軌道部材種別識別モデルの識別対象

表1 軌道部材種別識別モデルの精度

	線ばね型	板ばね型	PC 防護	TPC	分岐器
敷設数 [個]	3,168	6,909	53	760	79
未検知数 [個]	19	5	0	0	1
誤検知数 [個]	93	11	0	2	0
検知率 [%]	99.4	99.9	100.0	100.0	98.7
正解率 [%]	97.0	99.8	100.0	99.7	98.7
未検知率 [%]	0.6	0.1	0.0	0.0	1.3
誤検知率 [%]	2.9	0.2	0.0	0.3	0.0

は検知区間 (14k830m ~ 15k230m) 以内となるため、データデポを検知した画像のキロ程を15k030mから15k000mに補正します。本機能と軌道部材種別識別機能により、まくらぎおよびレール締結装置については、台帳整備の効率化に寄与できると考えられます。



図7 データデポの設置例

### おわりに

市販のビデオカメラで撮影した列車前方画像から、画像処理とディープラーニングを用いて軌道部材の検知や状態判定を自動で行うシステムを紹介しました。本システムを活用することにより、保線技術者が実際に現地に赴かなくても検査などが可能となるため、検査速度・頻度の向上や、検査労力・コストの削減などの効果が期待できます。

今後も鉄道事業者からの要望を把握しながら、その他軌道部材への適用についても検討を進めていく予定です。 **RRR**

### 文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）の手引き，鉄道総合技術研究所，2007
- 2) 坪川洋友，高原恵男，長峯望，合田航：列車前方画像を用いた軌道部材状態評価システムの開発，日本信頼性学会誌 信頼性，47巻，3号，2025

図8 データデポによる位置補正のイメージ

