

# 新幹線車両の外観検査に関する技術開発

技術開発部	メンテナンスイノベーションチーム	メンテナンスイノベーショングループ	グループリーダー	成田 武司
技術開発部	メンテナンスイノベーションチーム	メンテナンスイノベーショングループ	主任研究員	上盛 広大
技術開発部	メンテナンスイノベーションチーム	車両機械検修省力化プログループ	主任研究員	山村 悟史
技術開発部	メンテナンスイノベーションチーム	画像診断技術グループ	研究員	重松 健太郎
技術開発部	メンテナンスイノベーションチーム	メンテナンスイノベーショングループ	研究員	宇治山 優輝

## 1 はじめに

東海道新幹線の車両の検査には、「仕業検査」と呼ばれる概ね2日ごとに行う検査から、「全般検査」と呼ばれる120万km走行(2~3年)ごとに車両から台車や各装置などを取り外して細部を点検する検査まで、周期の異なる4種類の検査があります。このうち仕業検査では、ブレーキや扉などの動作の状況を確認する「機能検査」と、パンタグラフや台車などの外観状態の異常の有無を確認する「外観検査」を行っています。機能検査については、これまでに、車両で取得したデータを用いた検査を取り入れるなど、効率的な検査の実現を進めてきました。一方、外観検査については、全長約400mの車両の内・外を歩いて点検をしており、多大な労力を要しています。

そこで、将来の労働力人口減少を見据え、車両の外観を自動的に撮影・解析することにより、人による検査の多くの部分を機械に置き換える「外観検査システム」を開発しました。

## 2 外観検査システムの概要

外観検査システムには「外観検査装置」「パンタグラフすり板検査装置」という2種類の装置があり、前者は車両基地の検査庫に入る車両の外観、後者は駅に入線する列車のパンタグラフすり板形状等が対象です(図1)。

いずれの装置も試作機による検証試験を進めており、外観検査装置は2024年6月に大井車両基地の検査庫に、すり板検査装置は同年10月に品川駅の上り線に試作機

を設置しています。これらは、動いている新幹線車両を画像により自動で検査する国内初のシステムとなります。

本システムの導入により、人手による外観検査業務の多くを削減でき、また、これまでよりも高い頻度で検査できるため安全性も更に向上します。



図1 外観検査システム

## 3 外観検査装置の開発

### 3.1 開発経緯と装置構成

#### (1) 開発経緯

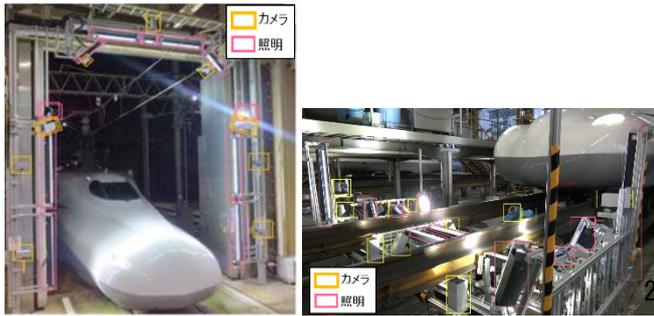
本装置の実現のためには、自動撮影と画像解析に関する高いレベルの技術が必要になります。そこで、最新の技術を幅広く調査した上で必要な機器を選定し、これらを組み合わせた装置を車両基地内に設置し、異常を仮設した車両を走行させて簡易的な検証試験を行いました。その結果、うまく検知できないケースもあるものの、狙い通りに不具合を検知できるケースも多くあり、これをブラッシュアップしていけば実現可能との見通しが得られたことから、本格的な開発に着手しました。

解析に必要な精度の画像を得るためには、走行速度は10km/h程度の低速とする必要があるため、車両基地の

検査庫の入口に設置することとしました。

(2) 装置構成

撮影ユニットを図2に示します。「門型撮影ユニット」は、検査庫の入り口に設けたカメラで屋根上や側面を撮影し、「床下撮影ユニット」は、検査庫内のレールの下などに設けたカメラで床下や台車側面を撮影します。カメラは撮影対象や用途ごとに、数種類を使い分けています。



(a) 門型撮影ユニット (b) 床下撮影ユニット

図2 大井車両基地における撮影ユニット

装置構成と検査の流れを図3に示します。検査庫入口への車両の接近を車体検知センサが捉え、これを受けて照明が点灯しカメラが起動します。通過する車両を門型・床下の両撮影ユニットが撮影し、画像は各ユニットの制御/解析PCで異常の有無が判定され、異常と判定された場合には確認者(人)のPCに送信されます。

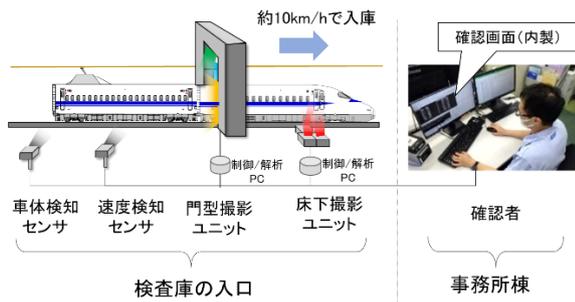


図3 外観検査装置の構成と検査の流れ

3. 2 開発における工夫点

(1) カメラ撮影制御

新幹線車両の長さは 25m であり、普通のカメラでは解析に適した画像は得られません。そこで、ラインセンサカメラを採用することとしました。このカメラは、

短冊状の画像を複数枚撮影し、これらを繋ぎ合わせて全体像を得るものです(図4)。車両の速度は一定ではないため、1枚の撮影時間を固定にすると、車両の速度が低いと画像は伸びてしまい、逆に速度が高いと縮んでしまいます。そこで、速度に応じて撮影時間を調整し、常に同じ縮尺の画像が得られるようにしました。これにより、正確な全体像を取得できるようになりました(図5)。

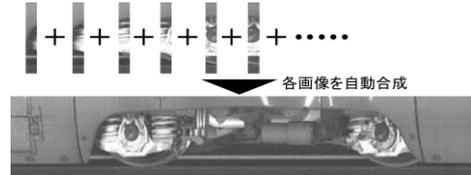


図4 ラインセンサカメラ撮影(イメージ)

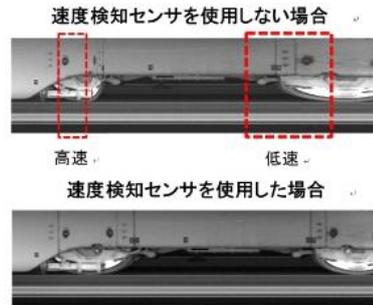


図5 速度に対応した画像撮影

(2) 対象機器の画像抽出

良否判定のためには、判定対象を正確に抽出する必要があります。図6に抽出のイメージを示します。得られた全体像の中から、パターンマッチング<sup>(1)</sup>を用いて、まず軸箱油面計の特徴的な形状(直径65mmの丸形)を抽出して同油面計と判断し、これを「基準箇所」とします(手順①)。次に予め図面から算出しておいた「基準箇所」と「対象機器」との位置関係(例えば、機器Bは基準箇所Aから右に2,580mm、上に80mm)をもとに、「対象機器」の画像を抽出します(手順②)。

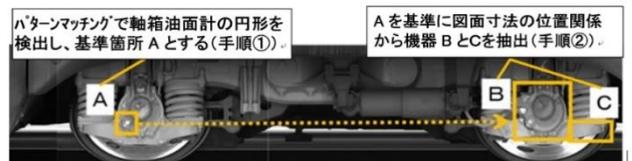


図6 機器の切り出しイメージ

<sup>(1)</sup> 事前に登録した画像から、同様の物体の外形や位置検知をする画像解析手法

なお、これらの画像解析プログラムは、当社の社員が自ら開発（内製）することとし、基本プログラムは技術開発部で、実際の解析プログラムは東京と大阪の車両基地の画像解析チーム（2023年に設置）で作成しています。車両の構造や検査業務をよく知る社員が自ら作成することで、目的のプログラムを効率的に作成でき、また、車両の進化や検査の変化などに対してきめ細かく速やかに対応できます。

### (3) カメラ台数の最適化

装置1台（＝検査庫1線）あたりカメラの台数は、当初、60台以上必要と考えていましたが、カメラの台数は全体の導入コストに大きく影響するため、台数の削減に取り組みました。まず、1台のカメラで広い範囲を撮影できるように、高画素数のカメラを選定しました。続いて、カメラからの距離が異なる複数の対象に対して、いずれにもピントが合うように、レンズの絞りや照明の強さを繰り返し調整しました。図7は、カメラからの距離が異なる2つの対象（緑丸、青丸）を撮影したものです。いずれの対象もピントの合った鮮明な画像が取得できており、これまで2台のカメラで撮影していたものが1台で可能となりました。これらにより、カメラ台数は当初想定した台数の約半分に削減できました。

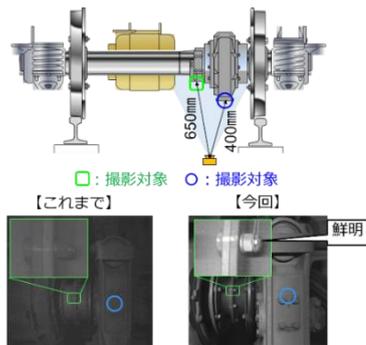


図7 照明変更やピント調整を実施した画像

## 3.3 大井車両基地での検証事例

### (1) ボルト緩み検知

締結ボルトの頭の角度変化からボルトの緩みを検知するアルゴリズムを開発しました。ボルトの頭を正面から撮影した画像はもちろん、斜めや側面から撮影した画像

にも対応できるようにしました（図8）。正面の場合は、外形の六角形を認識して角度を算出し、斜めの場合は、画像の歪みを補正した上で外形を認識し、角度を算出します。側面の場合は、ボルト側面の辺を認識し、辺の位置関係からボルト角度を算出します（特許取得済）。

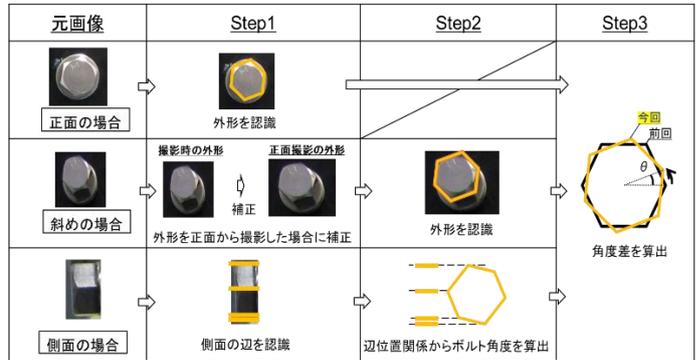


図8 ボルト角度の算出手順

実際の車両を用いて試行した結果、目視では判別できないようなわずかな回転も検知可能であり、ボルト緩みを早期検知できることを確認しました。

### (2) 3D計測によるきず・打痕検知

歯車箱の打痕については、修繕要否の判断のために、打痕の大きさに加え、深さの情報が必要であり、平面（2D）の画像だけでは不十分です。そのため、3Dカメラを導入し、そこで得られたデータを解析して判定するアルゴリズムを開発しました。営業列車の歯車箱で発見された打痕を使って検証した結果、打痕の位置や深さが正確に捉えられることを確認しました（図9）。歯車箱は曲面で構成されており、「凹凸の変化」という意味では打痕と同じであるため、これらを正しく切り分ける方法には工夫を凝らしました。

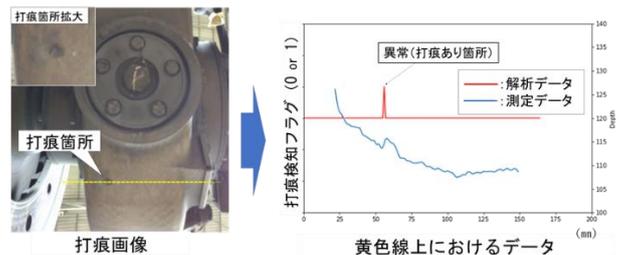


図9 打痕検知方法

## 4 すり板検査装置の開発

### 4.1 開発経緯

#### (1) 現行のすり板検査

パンタグラフのすり板はトロリ線と接触して電気を取り入れるため、走行とともに徐々に摩耗します。そのため、すり板の厚さを仕業検査において確認していますが、現在は、人が車両の屋根上に上がって確認しています。また、簡単な治具による OK/NG の確認であり、摩耗量は把握できていません。

#### (2) すり板厚さの自動計測

すり板厚さの自動計測は、当社の在来線では超音波センサを用いた方式が、30年以上前から導入されています。しかしこの方法は、すり板の上方、約 300mm の位置にセンサを設置する必要があるため、直流 1.5kV の在来線では構成できますが、交流 25kV の新幹線では絶縁隔離距離の観点から採用できません。

そこで、超音波センサよりも遠くから計測できるレーザー計測に着目し、すり板厚さを計測する手法を開発しました。図 10 にイメージを示します。パンタグラフすり板にレーザーを照射し、3D センサですり板形状のデータを取得するという仕組みです。

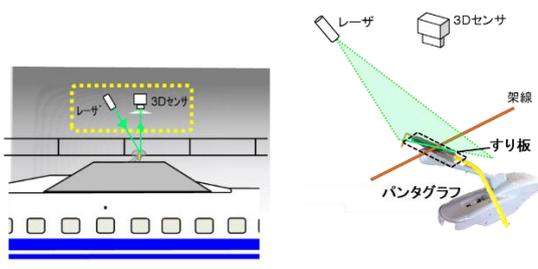


図 10 すり板検査装置イメージ

#### (3) コスト低減への対応

当初はこの「すり板厚さの自動計測」も、前述の外観検査装置の一機能として同装置に組み込むことを考えていましたが、その後のコスト低減検討の中で「高い速度で測定できれば、設置場所の選択肢が広がり、設置台数を削減できる」という考えから検討した結果、すり板計測については、計測方法を工夫することで 70km/h 程度でも必要な精度で計測できる可能性のあることがわかり

ました。70km/h で測定できれば、「外観検査装置」から独立させて「すり板検査装置」として駅などに設置でき、設置台数を大幅に削減することができます。そこで、70km/h でも計測できる手法の開発に着手しました。

### 4.2 開発した計測方法

#### (1) 光切断法

レーザー計測は「光切断法」と呼ばれ、3D センサ、レーザー、対象物の 3 者を結ぶ三角形から対象物の高さ情報を取得する三角測量を利用した計測技術です (図 11)。

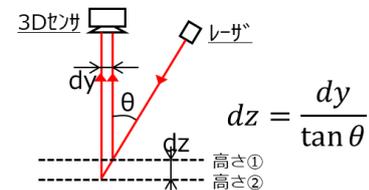


図 11 「光切断法」の概念図

すり板厚さは、基準箇所とすり板上面の高さの差で得られます。パンタグラフの構造を図 12 に示します。N700 系以前は、すり板が舟体に固定されていたため、測定し易い舟体の上面 (A 部) を基準にすればよかったのですが、N700A 以降は舟体に対してすり板が上下に微動する「たわみ式すり板」を採用しているため、すり板の中で摩耗しない部分を基準箇所にする必要があります。そこで「すり板端部の折れ点 (B 部)」を基準にすることにしました。

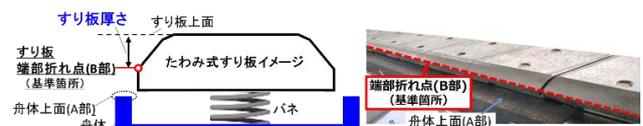


図 12 たわみ式すり板の基準箇所

図 13 に、「すり板端部の折れ点」を検出する手法として当初考えていた手法と、新たに開発した手法を示します。当初は、床下機器の 3D と同様に、すり板端部のラインに対して平行にレーザー光を照射していました。この手法では、10km/h 程度の低速であれば測定可能ですが、列車速度が速くなると照射間隔が広がり、基準となるすり板端部のラインとレーザー光によるラインが一致せず、

目標の精度を確保できませんでした（図 13 上段）。そこで、レーザ光をすり板端部ラインに対して斜めに照射する手法を考案しました（特許出願済）。斜めに照射すれば、すり板端部ラインとレーザ光は必ず交差するため、すり板端部の折れ点を確実に認識できるという考えです（図 13 下段）。

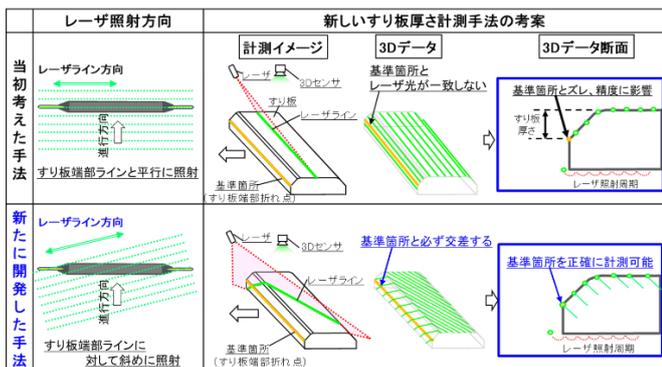


図 13 当初考えた手法と新たに開発した手法

開発した計測手法の精度を確認するため当社の小牧研究施設にある電車線の試験装置に検証試験機を搭載し、70km/h で走行するすり板の 3D データを取得しました（図 14）。その結果、すり板の厚さは目標としていた±0.5mm 未満の高い精度で計測できることが確認でき、レーザ光によるラインの間隔は均等であることから表面の凹凸状態も把握できることがわかりました（図 15）。



図 14 レーザ式 すり板計測検証試験機

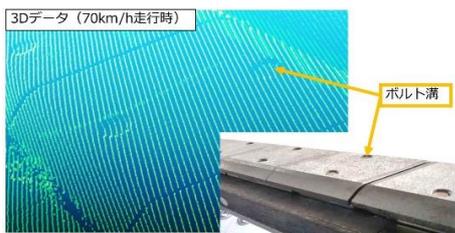


図 15 70km/hにおけるすり板 3D データ

### 4. 3 装置構成

装置構成を図 16 に示します。まず、駅に入ってくる車両を車体検知センサが捉えてレーザを起動し、続いて、パンタ検知センサでパンタグラフ通過を検知して 3D 計測を開始します。取得した 3D データは、制御/解析 PC に送信され、すり板厚さを算出します。

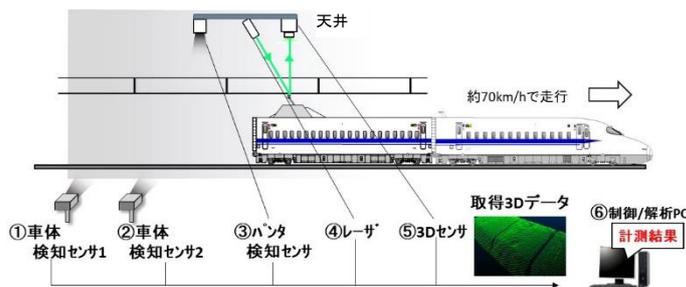


図 16 すり板検査装置の装置構成

### 4. 4 品川駅でのすり板検査装置の検証

2024 年 10 月に品川駅の上り線に設置し、営業列車での検証を開始しました（図 17）。取得したデータの一例を図 18 に示します。正確なデータが取得できていることが確認できました。



図 17 品川駅設置状況

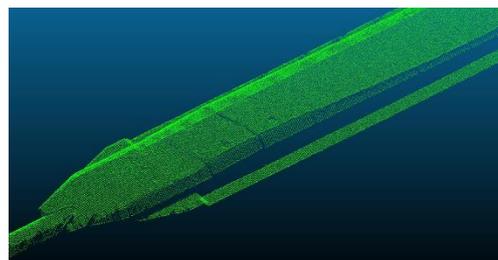


図 18 品川装置で取得したすり板 3D データ

## 5 おわりに

鉄道は労働集約型の産業の一つであり、車両や地上設備のメンテナンスも、人の目と手に大きく依存してきました。しかし、昨今の労働力人口の減少を考えると、メンテナンスの自動化・機械化は喫緊の課題です。

鉄道は、1本の列車が全ての地上設備を通過し、一方で、1つの地点を全ての列車が通過します。そのため、車両による地上設備の検査や、地上に設けた検査装置による車両の検査というのは、極めて合理的な検査手法です。前者の例としては、すでに、走行中の営業列車からトロッコ線の摩耗等計測する手法などが導入されています。後者については、放射温度計を用いた軸受部品の異常検知など一部で導入していますが、今回の外観検査システムのように、動いている新幹線車両の画像を自動的に取得して画像解析によって検査するというのは、新幹線車両の検査としては初の取組みです。

本稿では、新幹線車両の外観検査システムを紹介しましたが、世の中のセンサ技術や解析技術は日進月歩で進化しており、これまで思いも寄らなかったような新しい検査手法が今後実現する可能性も、大いにあると考えています。

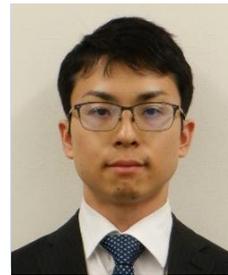
労働力人口が減少していく中、メンテナンスのあるべき姿の追求を続け、よりドラスティックに業務を変革していくことで、さらに安全で安定した鉄道、そして、その効率的な運営の実現を目指していきます。



成田 武司

メンテナンスイノベーションチーム  
メンテナンスイノベーショングループ

本開発を通じて、労働力人口が減少する世界が来ようとも「安全で安定した鉄道」を維持させることができると確信します。



上盛 広大

メンテナンスイノベーションチーム  
メンテナンスイノベーショングループ  
電気学会会員

検査を人からデータに置き換えることは、検査の質の向上という観点でも重要です。今後も、質を保ちつつ、技術発展に挑戦します。



山村 悟史

メンテナンスイノベーションチーム  
車両機械検修省力化プログラムグループ

本システムを用いた検査の高頻度化と高精度化により車両検修を抜本的に改革し、安全・安定性向上に貢献していきます。



重松 健太郎

メンテナンスイノベーションチーム  
画像診断技術グループ

鉄道事業では人が苦勞している業務が数多くあります。日々進歩する世の中の技術を積極的に取り入れ、サービス品質の向上・労働負担の低減に向けた開発を進めたいと思います。



宇治山 優輝

メンテナンスイノベーションチーム  
メンテナンスイノベーショングループ

新幹線のさらなる安全性向上に向けて、画像解析技術の活用に取り組んでいます。自分がやるぞ！という気概で取り組みます。