

# 東海道新幹線の新しい営業車検測に関する技術開発

技術開発部 軌道技術チーム 軌道検査技術グループ 主任研究員 三島 健吾  
 技術開発部 電力技術チーム 電車線技術グループ グループリーダー 寺田 泰隆

## 1 はじめに

東海道新幹線は、1日あたり平均で383本（2024年度）もの列車が運行されており、世界で最も高密度な輸送を行う高速鉄道です。その安全性・安定性を確保するため、計測専用車である新幹線電気軌道総合試験車（以下、ドクターイエロー）により、概ね10日に1回のペースで軌道や電車線などの地上設備を高精度に計測し、得られたデータをメンテナンス等に活用しています。

しかし、ドクターイエローは車両の老朽化に伴い2027年を目途に引退を迎えるため、その後の合理的な計測体制の構築が課題となっていました。そこで当社は、ドクターイエローで実施していた計測をすべて営業列車で実施するための技術開発に取り組み、軌道や電車線の状態把握が可能となる営業車検測技術を開発しました。これにより、ドクターイエローの引退後は営業車検測による高精度かつ高頻度な計測体制の構築が可能になりました。本稿では、開発した各技術の概要を紹介します。

## 2 軌道検測システムの開発

東海道新幹線の軌道は、砕石上にレールとまくらぎを配置したバラスト軌道で大部分が構成されています。この軌道は列車通過に伴う繰り返し荷重により、上下・左右方向に徐々にゆがみ（以下、軌道狂い）が生じ、日々変化します。ドクターイエローでは、この軌道狂いを高精度に計測しており、得られたデータは、検査や軌道狂いを整正する作業に活用されています。軌道狂いを整正する作業は、人手やマルチプルタイタンパ（以下、マルチ）という大型の保守用車両によりミリ単位の精度で実施されていますが、特にマルチを使用する場合には波長100m（以下、長波長）までの成分を含めた軌道狂いデータが必要となります。

ドクターイエローでは、車体のゆがみを補正する目的

でレーザ光を通しており、それを基準としてレールまでの距離を3点で計測して軌道狂いを算出しています（図1(a)）。この方式は二次差分法<sup>1)</sup>と呼ばれ、長波長成分を含めた軌道狂いを高精度に計測可能で、国内の軌道検測車に多く採用されています。一方で、レーザ光を通すために車内の床を嵩上げする必要があり、天井高が低くなるため、営業車には採用できません。そこで新たに開発した軌道検測システムでは、レーザ光に代えて台車を基準とする方式を採用しました（図1(b)）。この方式は一次差分法<sup>2)</sup>と呼ばれ、台車の傾きを補正して基準とし、レールまでの距離を2点で計測して軌道狂いを算出しています。

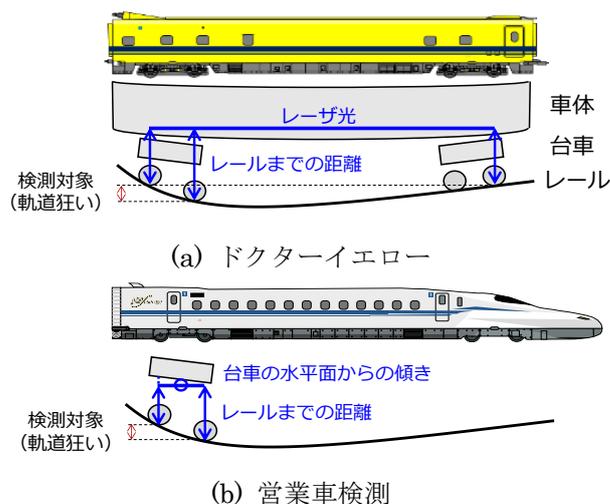
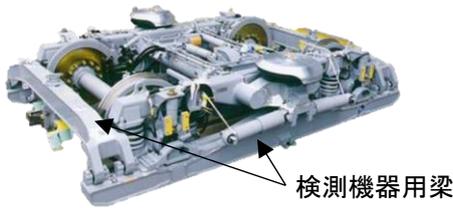


図1 軌道狂いの計測方法

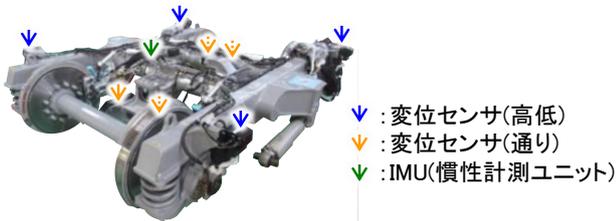
一次差分法は二次差分法と同様に従来から知られる測定方式ですが、IMU（慣性計測ユニット）の高精度化と小型化の両立に課題があり、これまで実用化されませんでした。この方式では、基準となる台車の姿勢角の精度が重要であり、ドクターイエローと同等の精度（軌道狂いの標準偏差が0.3mm以下）を実現するためには、姿勢角の誤差を0.02°以下としなければなりませんし

た。そこで本開発では、小型の IMU を採用したうえで台数や設置位置、角度の演算方法などの改良を重ね、高精度化と小型化の両立を実現しました。

また、ドクターイエローは、台車に特殊な梁を用いて、レールまでの距離を測定するセンサを搭載する必要がありました (図 2(a))。この特殊な台車は通常の台車に比べて寸法、重量とも大きく、営業列車に採用できません。そのため本開発では、IMU およびレールまでの距離を計測する変位センサを小型化するとともに、計測精度の確保に必要なセンサの位置関係を検討したうえで、すべてのセンサを台車に直接搭載しました。これにより、営業車で使用している台車の基本構造を変えずに軌道検測台車を実現しました (図 2(b))。



(a) ドクターイエロー



(b) 営業車検測

図 2 軌道検測台車

採用した変位センサはレーザを用いており、レーザ投光部・受光部のレンズが外乱 (雨や雪、車輪が巻き上げる粉塵など) により汚損すると計測ができなくなります。これを防止するため、レンズを防護するカバーを開発しました。カバー形状は複数パターン考案し、流体解析を行って最適な形状を検討しました。検討結果をもとに製作したカバーを図 3 に示します。このカバーの効果の検証は、当社の小牧研究施設にある風洞試験装置を用いて行いました。試験の結果、図 4 に示すように、東海道新幹線の営業最高速度である 285km/h において、

レンズ部の風速を 80~86%程度低減できることがわかりました。

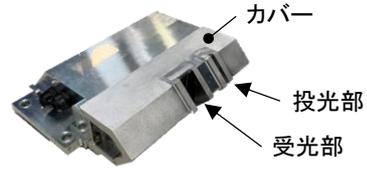


図 3 通りセンサカバー

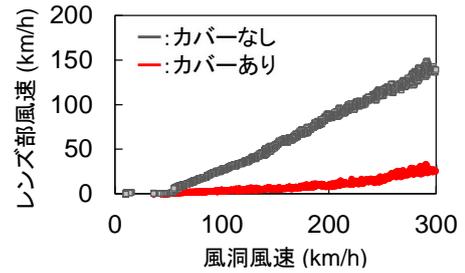


図 4 風洞試験結果

開発したシステムの評価は、N700S 確認試験車を用いて行いました。長波長成分を含めた軌道狂いについて、同日に同じ箇所を複数回走行した時の精度 (再現性) を図 5 に、ドクターイエローとの誤差 (整合性) を図 6 に示します。両者とも実運用上全く問題ない精度であることを確認しました。

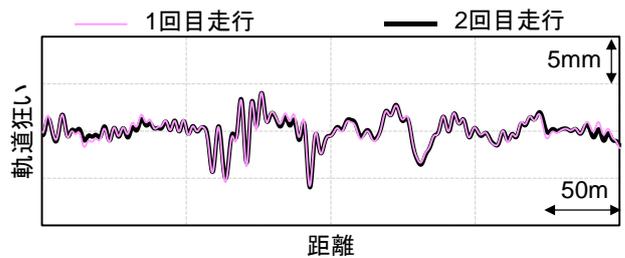


図 5 複数回走行時の再現性

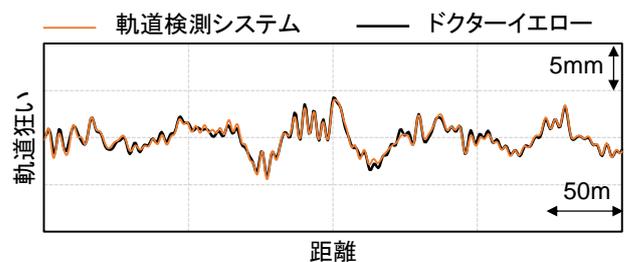


図 6 ドクターイエローとの整合性

### 3 電車線関係検測装置の開発

ドクターイエローが担っていた電車線関係の検測のうち、「トロリ線摩耗・高さ・偏位」、「パンタグラフ離線」については営業車の屋根上に搭載可能なコンパクトな検測装置を開発済みで、既に一部の N700S に搭載して運用を開始しています。残る検査項目のうち、後述する「トロリ線硬点・パンタグラフ衝撃測定」、「パンタグラフ支障物検知」については、測定専用の無集電パンタグラフが必要であることから、現在もドクターイエローによる検測を行っています。

測定専用パンタグラフの舟体内部には加速度センサと接触センサを設置して、トロリ線と接触する舟体の挙動や、周辺設備との接触の有無を直接的に測定しています。しかし、この測定方式はノイズの影響を受けないようにパンタグラフを無集電とし、また、データ出力のための高圧室を車内に設置しなければならないなど、特殊で複雑な設備が必要となるため、コスト面や運用面での課題が多く、営業車の集電用パンタグラフへの適用は困難でした。

そこで新たに開発した検測装置では、カメラで撮影した舟体周辺の画像を解析することで、その挙動や周辺設備との接触の有無を間接的に測定する方式とし、営業車の集電用パンタグラフでの測定を可能としました。

#### (1) トロリ線硬点・パンタグラフ衝撃測定装置

この装置は、走行中のパンタグラフ舟体の上下方向と前後方向挙動から、トロリ線に取付けられた金具等の影響でパンタグラフが通過する際に上下方向に強い衝撃を受ける箇所（トロリ線硬点）や架線構成の不良等により舟体が前後方向に強い衝撃を受けている箇所（パンタグラフ衝撃）を検出する装置です（図 7）。これにより架線構成やトロリ線、金具の取付け状態に関する異常の予兆を検出します。

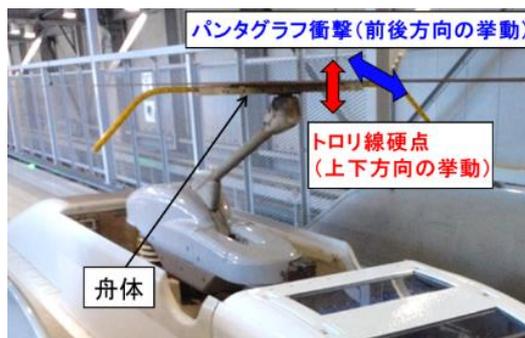
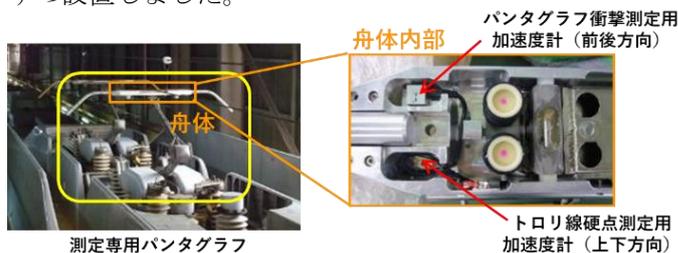
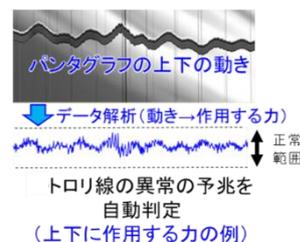
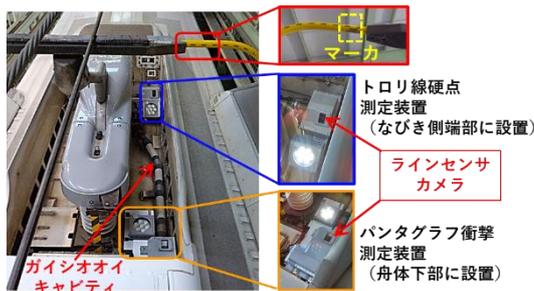


図 7 トロリ線硬点とパンタグラフ衝撃

ドクターイエローでは、測定専用パンタグラフ内に設置した 2 つの加速度計により異常兆候のある箇所を検出しており、上下方向の加速度からトロリ線硬点を、前後方向の加速度からパンタグラフ衝撃を測定しています（図 8(a)）。新たな営業車検測では、図 8(b)のようにパンタグラフのガイシオオイキャビティ内のなびき側端部と舟体下部に、照明とラインセンサカメラを 1 台ずつ設置しました。



(a) ドクターイエローの装置構成



(b) 営業車検測用の測定装置構成と測定データ例

図 8 トロリ線硬点・パンタグラフ衝撃測定装置

それぞれのカメラでパンタグラフの上下方向と前後方向の動きを 2kHz のサンプリングで撮影し、画像解析により加速度を計算することで、トロリ線硬点とパンタグラフ衝撃を算出します。なお、キャビティ内の搭載にあたってはパンタグラフ加圧部～測定装置間の離隔を十分に確保する必要があり、搭載可能なスペースが限られていたことから、必要なカメラ視野角と照明照度を確保しつつ、可能な限り小型になるような設計検討を繰り返し実施し、装置形状と配置位置を決定しました。

図 9 は、ドクターイエローの測定専用パンタグラフと、N700S 確認試験車に試験搭載した営業車検測用装置で取得したパンタグラフ挙動から解析したトロリ線硬点データを比較した結果の例です。ドクターイエローと N700S 営業車ではパンタグラフ舟体の構造が違うため、得られた加速度には差異が見られるものの、実運用上問題ないデータが取得できることが確認できました。

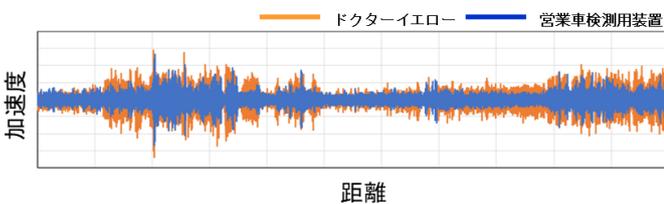
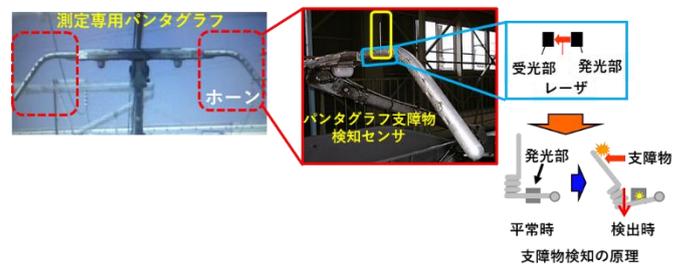


図 9 トロリ線硬点測定データの比較

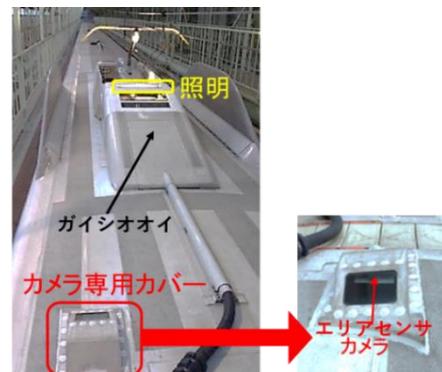
## (2) パンタグラフ支障物検知装置

パンタグラフ支障物検知装置は、走行中にパンタグラフの舟体周辺を支障するおそれのある設備が無いかを検出する装置です。これにより、電柱支持点でトロリ線を把持している曲線引金具の異常の予兆を検出します。ドクターイエローでは、測定専用パンタグラフのホーンに針状の支障物検知センサを設置し、接近した支障物が針と接触してセンサが動作することで機械的に検出を行っています (図 10(a))。新たな営業車検測では、高速走行する車両の屋根上に小さな撮像用カメラを単体で設置する必要があり、装置の飛散や騒音の発生源とならないように、図 10(b)のようにパンタグラフ搭載号車の屋根上車端部に防水処理を行ったカメラ専用のカバー

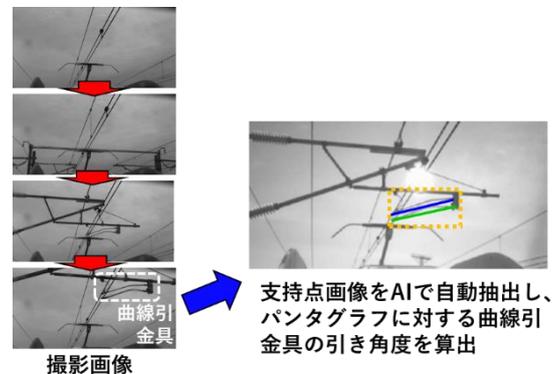
を設置し、内部に撮像用のエリアセンサカメラを搭載しました。画像取得に必要な装置の照明はガイシオオイ内に搭載し、パンタグラフとその周辺設備を照射します。また、時速 300km の走行速度でも各電柱支持点の曲線引金具画像を確実に取得する必要があるため、エリアセンサカメラの撮像範囲をパンタグラフ周辺に限定することで、撮影フレーム (100fps) の高速化を実現しました。本装置で撮影した画像に対して AI 処理を行うことで、電柱支持点の曲線引金具を自動検出し、舟体に対する曲線引金具の引き角度を算出して異常兆候の有無を判定します (図 10(c))。



(a) ドクターイエローの測定装置構成



(b) 営業車検測用パンタグラフ支障物検知装置



(c) AI による電柱支持点での金具検出例

図 10 パンタグラフ支障物検知装置

なお、装置搭載にあたっては、明かり／トンネル、昼間／夜間のすべての条件下で解析可能な画像を取得可能とするために詳細な照度計算と実証試験を繰り返し実施した結果、検出対象となる架線支持物の周辺設備範囲で 7,000lx 以上の照度を確保する必要があることが判明したため、この条件を満たすことのできる照明の選定、配置位置の設計を行い、ガイシオオイ内に設置することとし、目標とする性能を得ることができました。

## 5 おわりに

本稿で紹介した新しい営業車検測装置は、今後新製する一部の N700S に搭載して 2027 年 1 月からの運用開始を見込んでいます。これにより、ドクターイエローで行ってきた軌道・電車線検測の営業車検測への置き換えが完了します。また、営業車で検測が可能になることで検測の頻度が向上し、東海道新幹線の安全性をさらに高めることができるとともに、検測専用の車両を開発・製造・運用する必要がなくなりコストダウンにつながる他、検測員の添乗も不要となります。本開発により、ドクターイエロー、ならびに人手による検査の一部を営業車検測に置き換えることができました。今後も、残る人手による検査の代替手法の開発に取り組み、業務改革に資する技術開発を進めていきます。

## 参考文献

- 1) 保線工学編集委員会,保線工学<下>, 2018 年 2 月, pp. 76-80



三島 健吾  
軌道技術チーム  
軌道検査技術グループ

軌道検測は列車の安全走行に直結する非常に重要な技術です。今後も様々な最新技術を取り入れながら、鉄道分野で活用できる技術の開発に取り組んでいきます。



寺田 泰隆  
電力技術チーム  
電車線技術グループ

カメラと画像処理技術の進歩により、ドクターイエローでのみ可能であった検査の置換えが実現できました。今後も日々進歩するこれらの技術を活用し、鉄道に貢献できる技術開発を進めていきます。