285km/h 走行に対応した新たな営業車検測装置の開発

技術開発部　軌道技術チーム　軌道検査技術グループ　グループリーダー　中澤　毅基
技術開発部　電力技術チーム　電力技術グループ　　グループリーダー　寺田　泰隆

1　はじめに

東海道新幹線は、最高速度 285km/h の列車を、一日あたり約 370 本も運行するという、世界でも類例のない高速度かつ高密度の輸送を実施しています。それを実現するには、線路及び電車線設備（図 1）のきめ細かな管理が必要となるため、営業車両に搭載した計測装置（以下、営業車検測装置）により、設備の健全性を高頻度に検査する仕組みを他に先駆けて構築してきました。現在は、軌道狂いやトロリ線摩耗等の計測を N700S 新幹線車両 6 編成で実施しています。

本稿で紹介する新たな営業車検測装置は、設備を構成する個々の部材や部材相互の位置関係といった、現在、目視主体で行っている検査の効率化、高精度化を目指して開発を進めてきたものです。

同種の装置は、一部の鉄道事業者で既に導入されていましたが、在来線車両や保守用車両に搭載し 100km/h 前後の走行速度で使用することを前提としたものでした。そこで、ラインセンサカメラ（以下、カメラ）や 3 次元距離計測が可能なセンサ（以下、センサ）といった様々な光学系の機器を駆使し、285km/h（79m/s）で走行中に数 mm サイズの部材も計測可能な国内初の営業車検測装置を開発しました。次章以降、開発した線路及び電車線用の計測装置について、それぞれの概要と特徴を記述します。

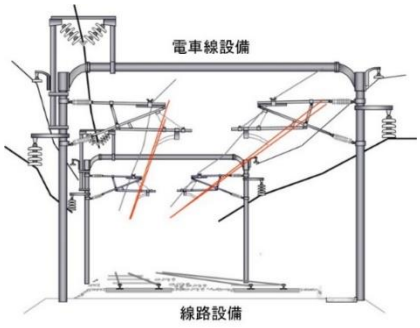

図 1 線路および電車線設備

2　線路設備用の計測装置

線路設備のうち、計測対象としたのは図 2 に示すようなレールやまくらぎといった軌道を構成する材料（以下、軌道材料）です。軌道材料は、敷設されている数が膨大で、例えば、レールとまくらぎを固定するためのレール締結装置は、東海道新幹線全線で約 700 万個にもおよびます。また、それぞれ材質や形状が全く異なるという特徴がありますので、それらに対応できる装置として構成しました。

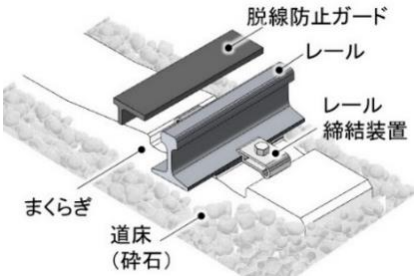

図 2　主な軌道材料

軌道材料の計測に用いるカメラやセンサ等の機器は図 3 に示すように車体の床下に搭載します。車体の構造を変更せずに搭載できるように、長さ（進行方向）800 ㎜、高さ 300 ㎜というサイズまで小型化を図りました。

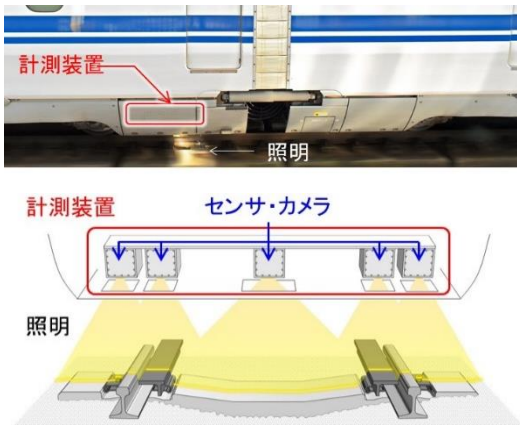

図 3　装置の設置位置と計測イメージ

この位置における車体の姿勢変化は、鉛直方向に±40㎜、水平方向に±70㎜になりますが、どのような状態であっても計測できるようにカメラ類を配置しています。特に、脱線防止ガードの下に位置するレール締結装置のボルトは最も死角になりやすい部材であったため、幾何学的なシミュレーションによって配置を決定しました（図 4）。

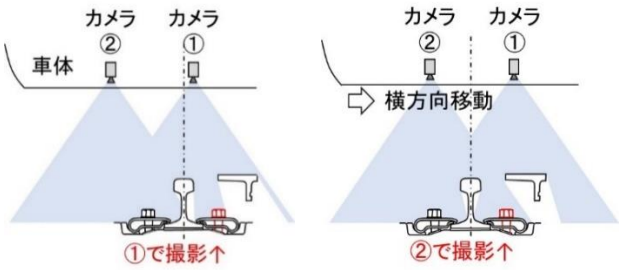

図 4　シミュレーショ結果のイメージ

開発した装置の性能試験は、N700S 確認試験車を使用して行いました。まず、カメラで撮影した画像データを図 5 に示します。これは試験的に 300km/h で走行した時のものです。細かな部材の状態まで確認できる精細な画像を得るために、1mm 幅（約 83,300fps）で撮影しています。この様なハイスピード撮影を実現するためには、十分な照度を確保する必要がありますが、搭載スペースの制限から多くの照明機器を搭載することができません。そこで、カメラと照明の配置をミリ単位で調整し最適な配置とすることで所期の性能を確保しました。

次にセンサで計測したデータの例を図 6 に示します。これも同じく 300km/h 走行時のものです。図 6 では軌道材料の高さを色の違いで表現していますが、全て細かな数値を持った点の集合体（点群データ）です。軌道材料の中で最も小さいナットを計測するために 4mm 毎（約 21,000fps）で計測しています。これについても、関係する機器の配置を細かく調整することで、高速かつ高解像度な計測を可能としました。計測精度は±1mm で、軌道材料の微小な変化も検知することができる性能を有することを確認しています。

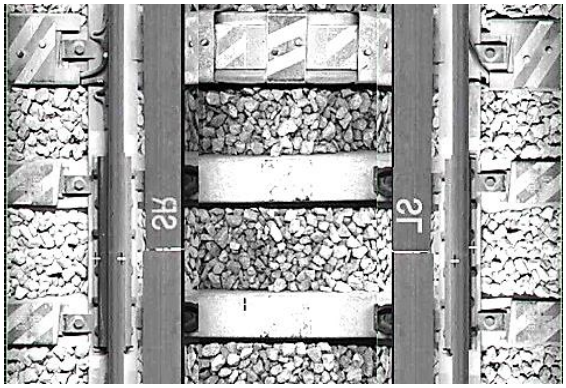

図 5　画像データ

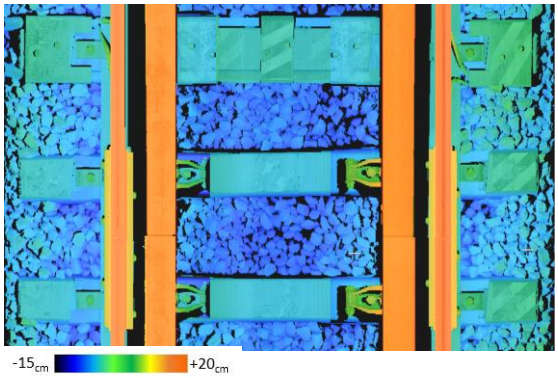

図 6　計測データ（点群データ）

計測装置で得られたデータは、走行中に設備の維持管理を担う部署へ伝送する仕組みとしてします。しかし、東京駅から新大阪駅のデータ容量は、約 15TB にもなるため全てを伝送することができません。そのため、走行中にデータ処理を行いメンテナンスに必要な情報だけを抽出することにしています。データ伝送の最終的な試験は、通信インフラの構築後となりますが、営業車検測の特性を最大限生かしたシステムとなるよう、引き続き検証を進める計画です。

3　電車線設備用の検査装置

電車線設備は、トロリ線、補助吊架線、吊架線などの線条類とそれらを機械的、電気的に接続する電車線金具で構成されています。これらは全線にわたって設置されており、東海道新幹線における電車線金具の数量は約 40 万個あります。ここでは電車線設備用の検査装置として、（1）架線三次元検測装置、（2）電車線金具異常検知装置を紹介します。

（1）ステレオ計測で架線の三次元構成を検測する装置

駅などの線路が分岐する箇所では、それぞれの線路を走行する列車に電気を送るため、わたり線によって電車線設備を分岐する構成としています。(図 8)。

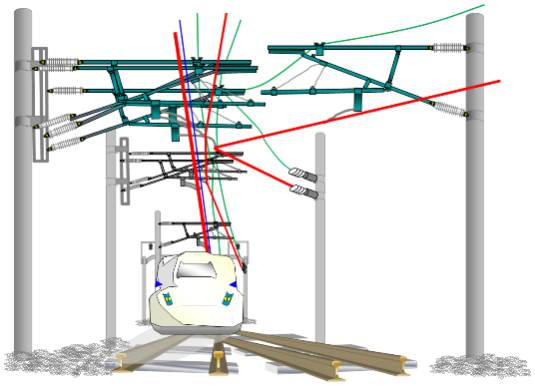

図 8 電車線分岐箇所の例（駅のわたり線）

このような箇所では、列車のパンタグラフ通過に支障がないように、架線の構成に異常がないかを昼間の外観検査と夜間の現地測定で定期的に確認しています。本装置は、それらの検査をカメラやセンサで取得したデータで代替することを目的に開発しました。

開発にあたっての課題は、パンタグラフカバー内部の狭い空間から上空の架線構成全体を捉える画角を確保するためのカメラ配置と必要な照明の設計でした（図 9)。設計にあたってはモックアップを作成して画角検討を繰り返し実施し、最適な機器配置を決定しました。

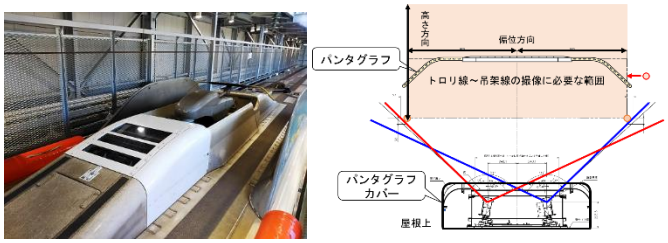

図 9 パンタグラフカバーと機器配置検討

開発した架線三次元検測装置を図 10 に示します。装置はラインセンサカメラと測域センサ、照明で構成されており、カーブや車体動揺などの変動に対しても検査できる機器配置としています。なお、本装置は定置にてキャリブレーションを行っており、計測誤差は平均 4mm 程度です。

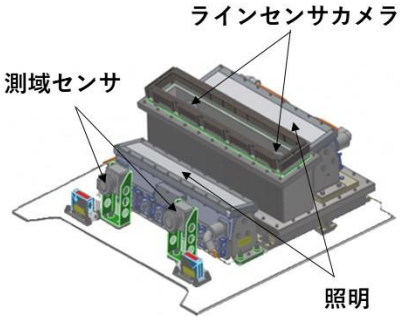

図 10 開発した架線三次元検測装置

本装置では、2 台のラインセンサカメラで走行中に撮影したトロリ線、補助吊架線、吊架線の画像からステレオ計測により空間的配置を算出し、架線構成の良否を判定します。測域センサは各線の動きを追跡し、架線が複雑に交差する箇所の画像処理において正確に架線構成を算出するための補足情報としています。N700S 確認試験車での検測結果を図 11 に示します。これは 3 本の架線で構成された、画像の処理が最も複雑な第三架線方式と呼ばれるわたり線です。ここではトロリ線の認識例を示しています。検測装置のラインセンサカメラでは 1 ラインの画像が 5cm 幅での撮影になりますが、285km/h 走行中でも線条をしっかりと捉えています。そして画像処理によりトロリ線を認識、構成を算出し架線構成の良否を自動で判定します。計測したデータは走行中に処理し、速やかに地上へ結果を伝送することを計画しています。

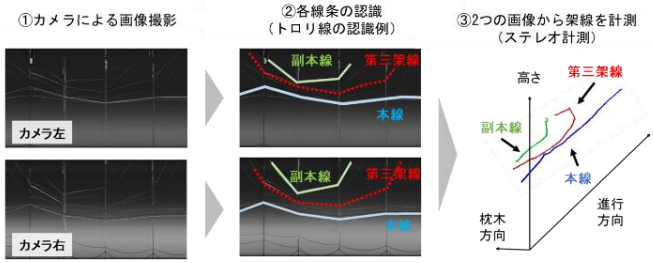

図 11 わたり線構成の解析結果例

（2）電車線金具の異常を自動で検知する装置

電車線金具は各電線間を機械的、電気的に接続するための設備です（図 12)。金具の「取付状態」や「外観形状」に異常があると、走行中の列車のパンタグラフに支

障を与え、列車運行の安定性に大きな影響を及ぼします。そのため電車線金具の状態を昼間の外観検査と夜間の至近距離検査で定期的に確認しています。本装置は、それらの検査をカメラやセンサで取得したデータで代替することを目指し開発しました。

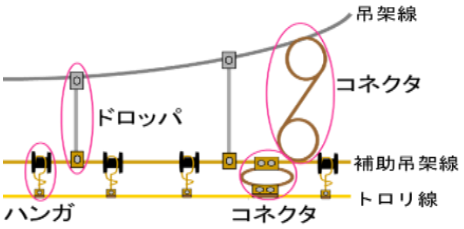

図 12 電車線金具の例

開発にあたっての課題は、高速走行中の車上から直径 6mm の金具を撮影することと、電車線を側面から急角度で見上げる画角で金具の良否を判定できる高画質な画像を撮影する手法の確立でした。開発では試作装置とモックアップにより機器配置の検討を繰り返し、条件に合致したカメラと照明を選定するとともに、チルトシフトレンズを使用した撮像手法を決定しました（図 13）。通常のレンズではカメラ面とピント面が並行になるため、急角度で見上げた画角では電車線全体にピントが合わず、上部の解像度が低くなってしまいます。チルトシフトレンズを使用することで、ピント面を電車線全体に合わせて電車線上部の解像度を向上しました。

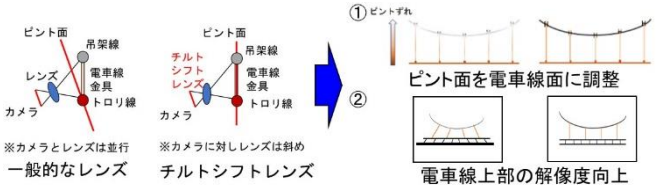

図 13 チルトシフトレンズによる撮影手法

次に屋根上搭載状況と装置構成を図 14 に示します。装置はラインセンサカメラと測域センサ、照明で構成されており、装置専用の屋根上カバー内に搭載しています。センサは各電線の位置関係を正しく把握し、複数の電車線設備が重なる箇所においても金具を正しく認識させるための補助情報として使用します。本装置にて N700S 確認試験車でデータを取得した結果を図 15 に示します。

1 ラインの画像幅を 2mm として撮影していますが、285km/h で走行する新幹線でも幅約 6mm の電車線金具画像を確実に捉えています。取得した画像はリアルタイムに画像認識と異常検出処理を行い、結果をタイムリーに地上へ伝送することを計画しています。

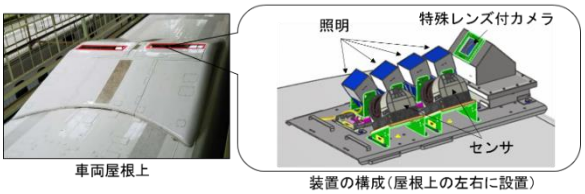

図 14 検測装置搭載状況と装置構成

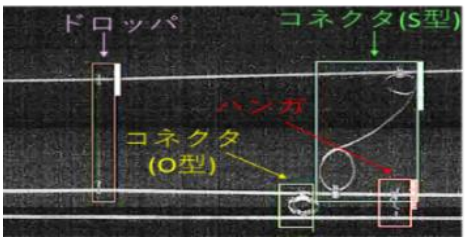

図 15 取得電車線画像と画像認識 AI での金具抽出例

4 おわりに

本稿で紹介した営業車検測装置は、検査の効率化、高精度化を目的に開発したものですが、それに加えて、これまでには得られなかった貴重なデータを得ることが可能になります。それらを活用して新たなメンテナンス手法の確立や様々な現象解明といった今後の技術開発にも活用を図っていく予定です。

中澤　毅基
軌道技術チーム
軌道検査技術グループ

画像処理技術はまさに発展途上の分野です。今後も継続的に、鉄道の安全･安定輸送に貢献す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
電力技術グループ

センシング技術は日々進歩しています。世の中の動向を漏らさず捉え、今後も鉄道に貢献できる技術開発を進めていきます。