

安全・安心な鉄道輸送を支える 軌道・架線検測技術

Rail and Contact Wire Inspection Technology for Safe and Secure Railway Traffic

比佐 隆文
Hisa Takafumi
坂井 光夫
Sakai Mitsuo

金谷 元就
Kanaya Motonari
浜岡 敬伸
Hamaoka Keishin

鉄道事業者は、安全で信頼できる快適な鉄道輸送を支えるため、沿線設備の点検・検査を欠かすことができない。日立ハイテクノロジーズは、レーザ光の応用技術などによる、線路状態検査（軌道検測）・架線状態検査（架線検測）の技術開発に携わり、長年にわたり鉄道輸送の安全性確保に貢献してきた。

また、これらの技術を用いて、検測車を営業ダイヤの中で走行して検測を行う総合検測車を製品化し、新幹線の運行速度でリアルタイムな軌道検測・架線検測を可能としている。

今後は、高頻度の検測を可能にするため、営業車を使用して検測する装置を製品化していく。

1. はじめに

レール（軌道）に高低差やうねりが発生すると、列車の乗り心地が悪くなるため、管理値を設けて検査し、補修する必要が生ずる¹⁾。また、トロリ線（架線）の敷設に変化が発生すると、トロリ線で異常摩耗が起きたり、パンタグラフに損傷を与えることになり、安定した走行の妨げになる²⁾。

そのため鉄道事業者は、軌道・架線の検査測定（以下、検測と記す。）を定期的に行い、安全性・信頼性・快適性の確保・向上に努めている。

このような背景の中、株式会社日立ハイテクノロジーズでは、長年にわたり鉄道事業者のニーズに対応した、軌道検測装置・架線検測装置を、公益財団法人鉄道総合技術研究所をはじめとしたJR各社と共同で開発し、製品化を行ってきた。また、顧客とともに改良を加えながら鉄道輸送の安全性の確保に貢献してきた。

ここでは、軌道検測・架線検測技術について述べる。

2. 軌道検測技術

製品化した軌道検測装置は、レールの高低・通り・軌間・

水準・平面性を高速で高精度に検測するとともに、検測中にリアルタイムでの表示確認を可能としている。また、そ

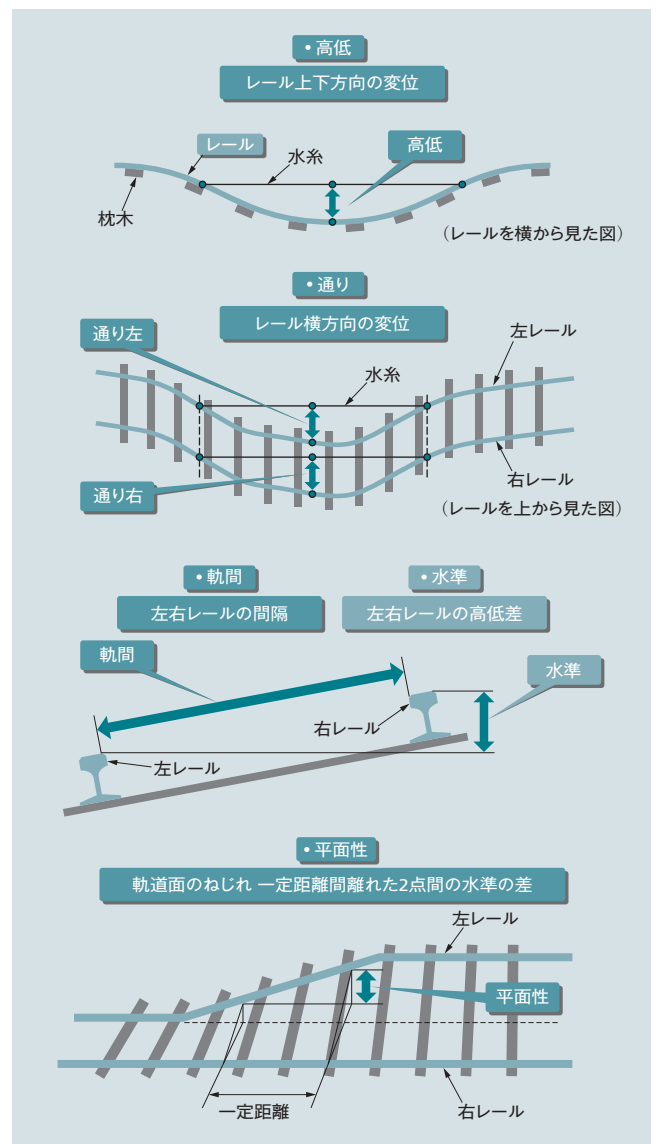


図1 | 軌道検測の測定内容

検測（検査測定）しなければならない軌道変位の概略を示す。

のほか多彩なオプション機能を備えている。次に軌道変位(狂い)測定の概略を説明する¹⁾。

2.1 軌道検測

軌道変位の検測は、高低変位・通り変位についてはレールの長手方向に対して一定の長さを持った糸を張り、この糸を基準にしてレールのたわみを測る水系法(差分法)と呼ばれる方法で実施している。

また、水準変位については、水準器や傾斜計を用いて測定を行う。軌間変位については軌間ゲージと呼ばれる物差しを用いて、左右レールの間隔の測定を行う(図1参照)。

このような測定を人手により行うことは非常に効率が悪く、また列車の運行本数が増加してくると、広範囲な測定のための時間の確保が難しくなってくる。そのため、軌道検測の省力化ニーズがあり、こうしたニーズに対応するため、前述した原理を基に、車両に検測装置を搭載した専用の検測車を製作し、軌道検測を行うようになった。

2.2 軌道検測原理

検測車に搭載した検測装置の高低変位の測定原理は、車体を水系の役割とし、各走行車輪の軸上の車体にセンサー[片側レールで3点(軸)]を設け、車輪の上下動から高低変位を求めるといものである(図2参照)。

このときの測定距離(全長)を10mとし、測定距離1および2の距離を5mとした場合を10m弦正矢法と呼んでいる。

また、通り変位は、高低同様に車体を水系の役割とするが、レールの横方向は車輪のフランジとレール間に遊びがあるため、走行車輪では軌道変位を測定できない。そのため、専用のセンサーが必要となる。センサーには接触式と非接触式があり、接触式は車体から直接レール側面(内側)に押し当てる測定用車輪を設け、その変位量をセンサーで測定するが、この方式では新幹線並みの高速走行では測定

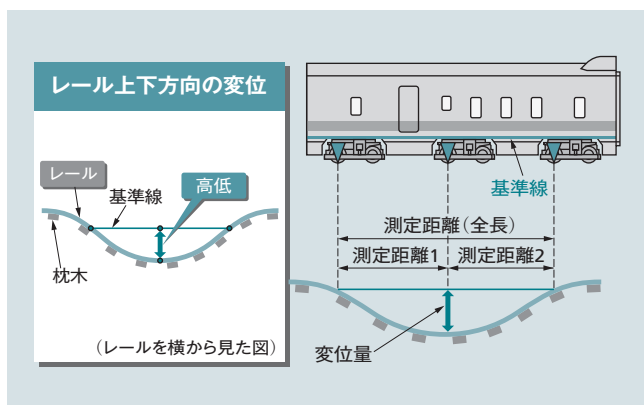


図2 | センサーによる高低差検測の例
手測定の原理を車両に取り込み、自動化ニーズを装置で実現した。

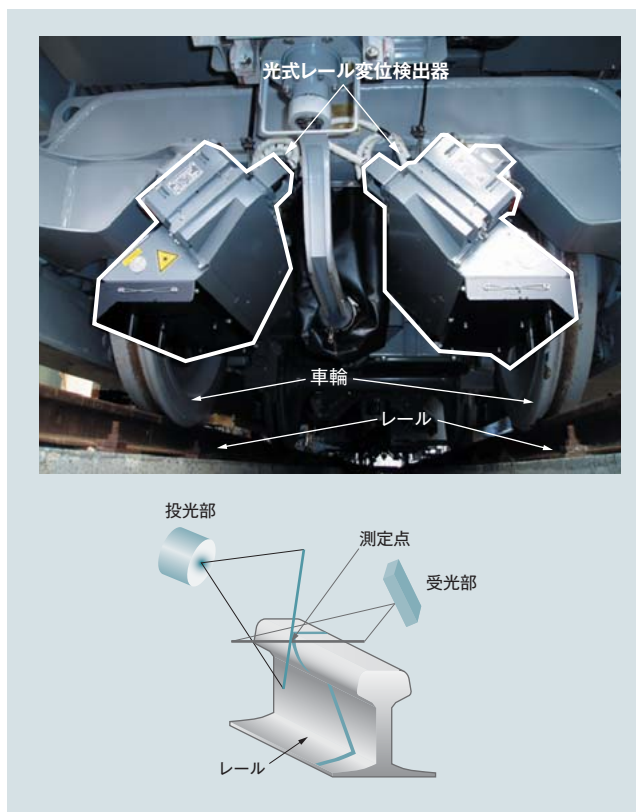


図3 | 光切断法を用いた光式レール変位検出器と測定原理
高速走行での測定精度確保の観点から、非接触式のセンサーが現在主流となっている。

精度の確保が困難なため、非接触式のニーズが出てきた。このような経緯から、現在は非接触式センサーが主流となっており、日立ハイテクノロジーズは、光切断法³⁾を用いた光式レール変位検出器を製品化した。光式レール変位検出器は、レーザーでレール側面に光帯を照射し、その光帯を受光して変位量を求めるものである。また、これらのセンサーで軌間変位も求めている(図3参照)。

水準については、車体の傾斜角を求め、その時の車体からレールの離れを測定し、レール左右の高低差を求めている。

3. 架線検測技術

トロリ線の敷設は、パンタグラフが均一に接触するように左右ジグザグに設備されている。

製品化した架線検測装置は、トロリ線の摩耗・偏位・高さの測定を高速で高精度な検測を行い、検測中にリアルタイムでの表示確認を可能としている。また、そのほか多彩なオプション機能を備えている。次に各測定項目の概略を述べる(図4参照)。

3.1 摩耗検測

トロリ線は、パンタグラフと直接接触することで、車両に電力を供給している。トロリ線の摩耗は、パンタグラフと接触して擦れることで発生する機械的摩耗とトロリ線と

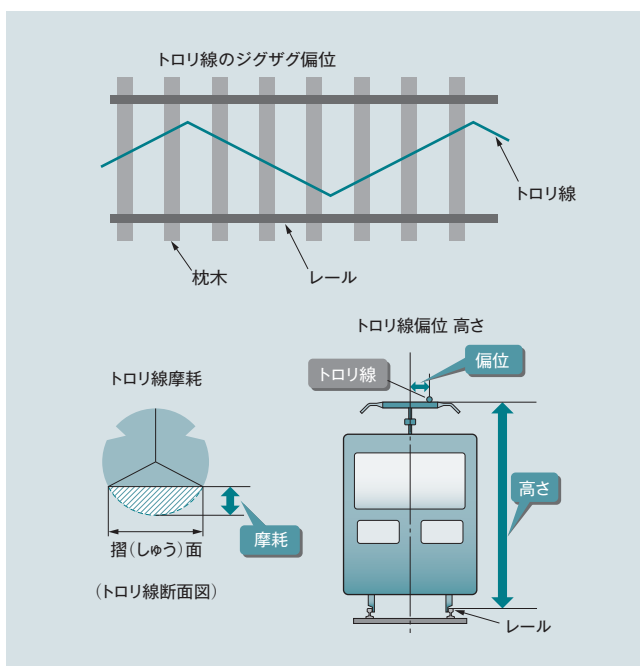


図4 | 架線検測の測定内容

検測しなければならない架線検測の概略を示す。

パンタグラフが離線したときに生ずるアークで発生する電氣的摩耗がある。このトロリ線の摩耗は、限界値を超えると断線するおそれがあるため、限界値に達する前に保守していく必要がある。

3.2 偏位検測

トロリ線は、パンタグラフと接触するため、パンタグラフの特定部位だけで接触させていると、パンタグラフの一部だけが擦り減ってしまう。そこで特定部位に摩耗が集中しないように電柱ごとに支持点を設け、パンタグラフが均一に接触するように、左右ジグザグに設備されている。しかし、トロリ線の左右ジグザグ量がパンタグラフの長さを超過するとトロリ線がパンタグラフに引っ掛かり、トロリ線の断線や車両事故などにつながるおそれがある。このため、トロリ線の左右ジグザグ量に限界値を設け、限界値を超過していないかを検査する必要がある。

3.3 高さ検測

トロリ線は、季節による温度変化によって伸縮するため、トロリ線のたわみに変化が発生する。たわみはトロリ線の高低差の変化を生み、高さの変化によってパンタグラフの跳ね上がりによる離線が発生する。前述のとおり、離線によるトロリ線の電氣的摩耗が進むため、高さに関しても検査をする必要がある。

またパンタグラフは、車両速度によって揚力が発生するようになっており、トロリ線を押上げるため、走行状態での測定が必要である。

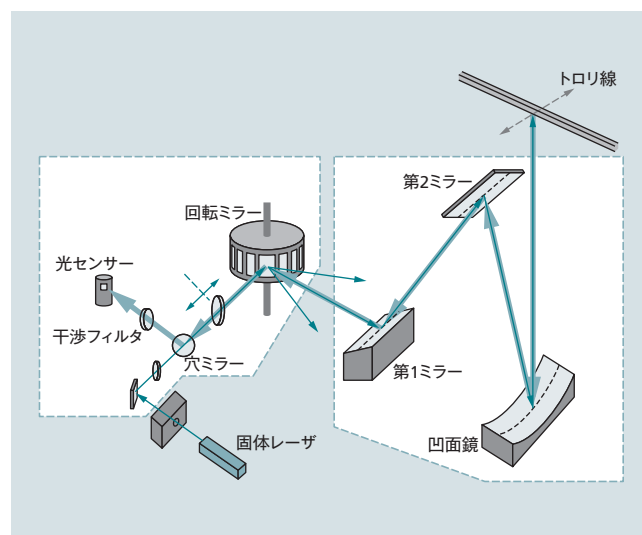


図5 | 架線検測測定原理図

新幹線の運行速度でも50 mmピッチで測定を行っている。

3.4 架線検測原理

トロリ線は車両よりも上方に設備されており、検測車両から測定するには、太陽光などの影響を考慮する必要がある。また前述のとおり、トロリ線は左右ジグザグに設備されているため、広範囲に測定をしなければならない。これらの問題を解決するため、レーザーを用いたトロリ線摩耗検出器²⁾を製品化した。その原理は点光源のレーザー光を使用し、回転ミラーで左右方向にスキャン後、凹面鏡によって平行光にしてトロリ線の摺(しゅう)面に照射される。照射されたレーザー光は摺面で反射され、その反射光は上記の逆ルートを経て、光学フィルタを通過後、受光素子に入射して摩耗量と偏位を測定する(図5参照)。

高さ検測については、パンタグラフの上下動を測定するため、パンタグラフの主軸角を測定する方式や、パンタグラフに設備しているトロリ線と接触するすり板裏面の高さをレーザー光によって測定する方式などを用いて測定している。

4. 総合検測装置

日立ハイテクノロジーズは、鉄道事業者のニーズに応えるため、これまで説明した技術を用いて数々の軌道検測装置・架線検測装置を製品化してきた。その中で、新幹線向けの総合検測車には最高峰の装置を搭載して検測を行っている(図6参照)。

東海道・山陽新幹線の設備を検査する検測車は通称「ドクターイエロー」と呼ばれ、7両編成で構成されている。各車両に各種検測装置が搭載され、多くの検測装置を日立ハイテクノロジーズが手がけている(図7参照)。

装置の測定項目は図7下の表のとおりとなっている。軌道検測では主要項目のほか騒音、軸箱加速度など計25



図6 | 新幹線向け総合検測車
東海道・山陽新幹線で検測するドクターイエロー(右)と、東日本旅客鉄道株式会社新幹線管内で検測するEast i(左)に検測装置を搭載している。

項目の検測を行い、測定間隔は25 cmとなっており、架線検測装置は主要項目と併せて計13項目の測定を5 cm間隔で行っている。検測速度は、通常列車と同等の270 km/hを実現している。

5. 今後の潮流

現在はこれまで述べてきた検測技術を用い、主に専用車両による定期的な検測が行われている。しかし、これからは検査の効率化、信頼性や乗り心地のさらなる向上をめざして、高頻度の検測が実施されるようになると考えられる。

検測頻度向上の手法の一つとしては、営業車両に検測装置を搭載して営業走行と同時に検測を行うというニーズが出てきている。このような営業車両を用いた検測に対応するため、架線検測装置では営業車搭載型架線検測装置の製品化を推進中であり、また軌道検測装置では慣性正矢軌道検測装置の製品化を行ってきた。

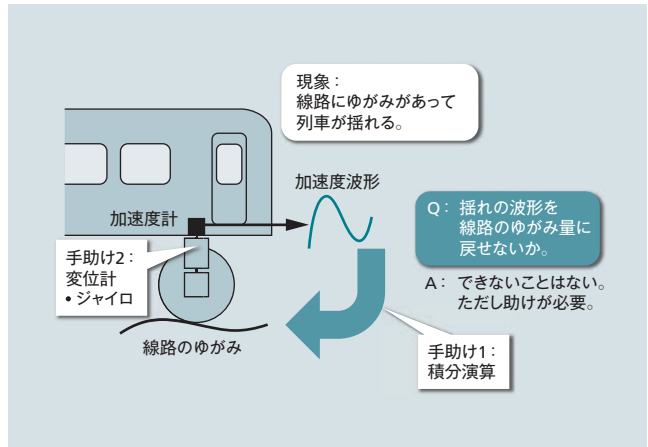


図8 | 慣性正矢軌道検測方式の原理
加速度を測定し積分演算を行うことで変位を求める。

営業車搭載型架線検測装置は、検測方式の変更や使用部品の大幅な見直しを行うことにより小型化を図っている。

慣性正矢軌道検測装置は、検測方式を総合試験車などで用いられてきた差分法から慣性測定法を応用した慣性正矢測定方式に切り替えている。慣性測定法⁴⁾とは、「加速度を2回積分すると変位になる」という力学の基本理論を利用し、加速度から変位を求める方式であり、慣性正矢測定法とは、慣性測定法に10 m弦正矢法の特性を合わせた演算を行うことにより、従来と同じ出力を得られるように開発された測定方式である⁵⁾(**図8**参照)。

この方式を採用することにより、前述した検測を行うための多数の検出器を、三つの検出器に置き換え、一つのユニットに収めることで小スペース化し、営業車両への搭載を可能にしている。

台車装架型慣性正矢軌道検測装置は実用化され、車体装架型慣性正矢軌道検測装置は、現在、実運用に向けてフィールド評価を行っており、顧客からは高い評価を得て

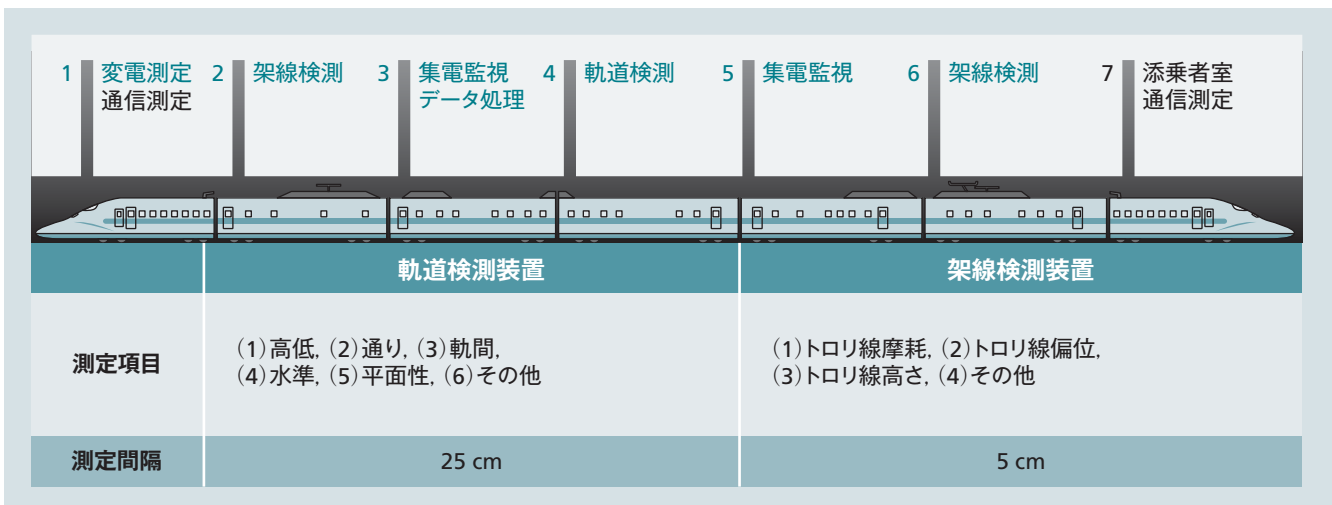


図7 | ドクターイエロー車両構成
世界に誇る高速・リアルタイム処理を実現した新幹線用の検測車両である。営業車と同等の2台車を使用しているため、軌道検測では車体を基準とせずレーザー光を基準とした検測を行っている(2台車方式)。



図9 | 車体装架型慣性正矢軌道検測装置

車体装架型慣性正矢軌道検測装置は実用化に向け、フィールド評価を行っている。

いる（図9参照）。

今回のフィールド評価が完了すると、大都市圏をはじめとする主要路線で使用されることにより、検測頻度の向上に貢献できると考える。

6. おわりに

ここでは、日立ハイテクノロジーズが提供する軌道検測・架線検測技術を紹介し、「安全で信頼できる快適な鉄道輸送」を行うために鉄道事業者が行っている検測について述べた。

今後も、よりよい製品を市場へ投入し、安全で信頼性が高く快適な鉄道輸送の発展に貢献していきたい。

最後に、この稿の執筆にあたりご助言などをいただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 須田, 外: 新しい線路—軌道の構造と管理—, 一般社団法人日本鉄道施設協会, p. 479~513 (1997.3)
- 2) 久須美: 電気検測車に搭載されているトロリ線摩耗測定装置, RRR (Railway Research Review), Vol. 65, No. 1, 34~35, 公益財団法人鉄道総合技術研究所 (2008.1)
- 3) 中川, 外: スポット光走査方式光切断法によるはんだ付部の形状検出, 計測自動制御学会論文集, Vol. 22, No. 9, 982-987 (1986.9)
- 4) 矢澤: 慣性正矢軌道検測装置, RRR (Railway Research Review), Vol. 64, No. 4, 44~45, 公益財団法人鉄道総合技術研究所 (2007.4)
- 5) 矢澤, 外: 営業列車で線路を検査する, RRR (Railway Research Review), Vol. 66, No. 11, 18-21, 公益財団法人鉄道総合技術研究所 (2009.11)

執筆者紹介



比佐 隆文

1987年日立電子エンジニアリング株式会社入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ファインテックシステム事業統括本部 設計開発本部 テストシステム設計部 所属
現在, 軌道・架線検測装置のソフトウェア取りまとめに従事



金谷 元就

1974年日立電子エンジニアリング株式会社入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ファインテックシステム事業統括本部 設計開発本部 テストシステム設計部 所属
現在, 軌道・架線検測装置の電気設計取りまとめに従事



坂井 光夫

1990年日立電子エンジニアリング株式会社入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ファインテックシステム事業統括本部 設計開発本部 テストシステム設計部 所属
現在, 架線検測装置の設計に従事



浜岡 敬伸

1989年日立電子エンジニアリング株式会社入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ファインテックシステム事業統括本部 設計開発本部 テストシステム設計部 所属
現在, 軌道検測装置の設計に従事