

デジタルメンテナンスによる省力化

構造物技術研究部長
神田 政幸



1. はじめに

鉄道の安全、かつ安定な運行には、鉄道設備のメンテナンスが必要不可欠である。法令等に基づき、鉄道設備のメンテナンスのための定期検査や検査結果に応じた補修・修繕が実施されている。しかしながら、少子高齢化と労働人口の減少が進む中で、メンテナンス要員の確保と人材育成・技術継承に課題を有する。一方、鉄道設備は、その目的の違いから寿命や耐用年数が異なる上、鉄道沿線に大量かつ、多種類が存在し、その経年による老朽化に起因するメンテナンスの業務量の増大が懸念されている。したがって、鉄道設備のメンテナンスについては、デジタル技術の活用により、鉄道設備の状態監視や検査の自動化、機械化による省力化・省人化が求められている¹⁾。

本講演では、鉄道設備として軌道、構造物、電車線設備を中心に、検測データに基づく軌道保守計画策定システムや、画像解析技術等を活用した電車線設備の

車上計測技術など、鉄道総研がこれまで取り組んできた研究成果を紹介する。さらに、車上、地上の計測データに基づき鉄道設備の異常や状態変化を予測し、適切な補修・修繕の時期を判断し、実施するデジタルメンテナンスの未来像を示す。

2. 鉄道設備のメンテナンスの現状

鉄道設備を構成する軌道、構造物、電車線設備はそれぞれ寿命・耐用年数が異なり、メンテナンス上の課題も変化する。寿命・耐用年数が短い鉄道設備は、「検査周期の延伸」や突発的に生じる鉄道設備の故障等の「設備異常対策」が主な課題であり、寿命・耐用年数が長い鉄道設備は、「老朽化対策」が主な課題となっている。先に述べた通り、鉄道設備のメンテナンス要員の不足の懸念から、「省力化・省人化」は鉄道設備全体のメンテナンスの共通課題である(図1)。

鉄道設備のメンテナンスは、「認知」・「予測」・「判断」・「実行」の4つのフェーズから構成され、それぞれ鉄道設備の「状態の把握(認知)」・「変状の進行予測(予測)」・「検査診断、その結果に基づく補修・修繕計画の策定(判断)」・「補修・修繕の実施(実行)」に該当する(予防保全)。

鉄道総研では、これまで鉄道設備のメンテナンスのフェーズの内、特に「認知」・「予測」・「判断」の省力化を目的に、デジタル技術の活用を進めてきた。鉄道設備のメンテナンスの省力化には、「認知」では目視主体の検査から画像・デジタル記録による検



図1 鉄道設備のメンテナンスの現状
(軌道・構造物・電車線設備)

査へ、「予測」・「判断」では経験的予測・経験的診断からシミュレーションやデータ分析、人工知能（AI）等の自動診断が考えられる（図2）。

3. メンテナンスとデジタル技術

3.1 デジタル技術の活用

—RESEARCH 2020の

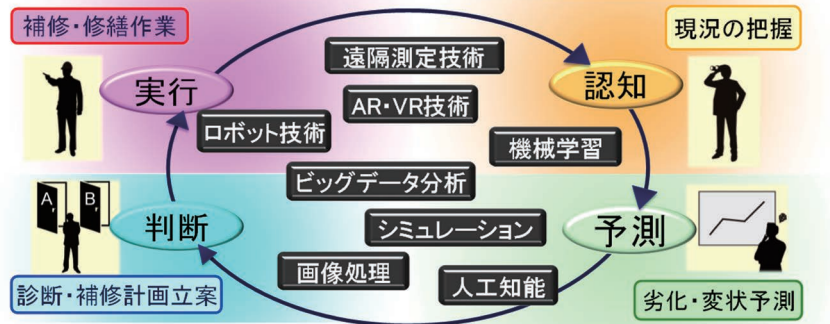
取り組み—

鉄道設備のメンテナンスへのデジタル技術の活用例として、軌道では「慣性正矢軌道検出装置」、「軌道保守管理データベースシステムLABOCS」、「リスクベースの軌道保守計画策定システム」が、構造物では「トンネル覆工のひび割れ検出システム」、「構造物の目視検査支援システム」が、電車線設備では「電車線設備の車上・非接触計測装置」がある（図3）。

(1) 軌道

鉄道総研では、慣性測定法に正矢法の演算を組み合わせた「慣性正矢軌道検出装置」の開発を行ってきた²⁾。慣性正矢法を利用した加速度計、ジャイロ、レーザ変位計からなる検出ユニットと、制御とデータ収録のための機器箱を車両に取り付けることで、軌道検測が可能となり、営業車両への搭載による軌道の高頻度検測管理へと繋がった。

営業車両での高頻度検測には、これを支援する「軌道保守管理データベースシステムLABOCS」及び関連ソフトウェアの開発・改良が大きく貢献している。「LABOCS」は、軌道変位などのデータベース・管理機能と、いろいろな角度から分析・加工できるソフトウェアである（図4）。軌道の高頻度検測に合わせて、局所的な軌道変位の急進位置の同定や、軌道変位進みを最新の検測結果から推定する機能を備えた関連ソフト



デジタル技術の活用

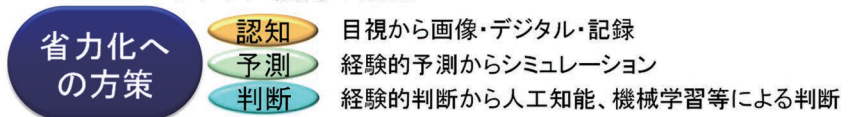


図2 メンテナンスとデジタル技術の活用



図3 デジタル技術の活用例—RESEARCH 2020の取り組み—

営業車による高頻度軌道検測

台車装架型装置



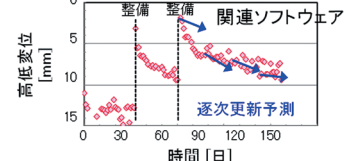
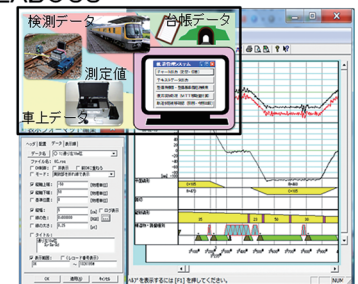
2009年から九州新幹線800系車両に搭載され軌道変位検査に活用

車体装架型装置



2013年から京浜東北線等で導入

LABOCS



軌道変位・乗り心地管理、軌道状態診断や将来予測に活用

図4 慣性正矢軌道検測装置、軌道保守管理データベースシステムLABOCS

ウェアにより、即時性を強化したことで、高頻度検測の軌道保守支援となった³⁾。

軌道変位管理では、軌道変位の測定値と管理値を対照し、保守箇所を選定することが一般的である。一方、沿線の脱線リスクを含めた、ライフサイクルコスト(LCC)による軌道保守計画の策定では、保守の優先順位付けが明確になり、脱線リスク管理の観点や同一路線・同一軌道変位箇所に対して、優先順位付けや計画的な保守業務の変更が可能となる。そこで、リスクの大小に基づいて保守優先度を定める「リスクベースの軌道保守計画策定システム」を構築した⁴⁾。これは、先頭

車両の画像データから被害拡大要因を自動抽出し、輸送密度を考慮した沿線ハザードデータベースと、軌道検測データから沿線被害リスク、及び保守頻度に応じた保守費から軌道保守計画を策定するものである(図5)。

(2) 構造物

鉄道総研では、トンネルのメンテナンスの省力化を目的に、「トンネルの覆工のひび割れ検出システム」を開発した(図6)⁵⁾。トンネルスキャナより得られた画像データから、機械学習を用いることで人間の目視判断に近いひび割れ検出が可能となる。これは既存のひび割れ画像データを学習させる効果であり、これに

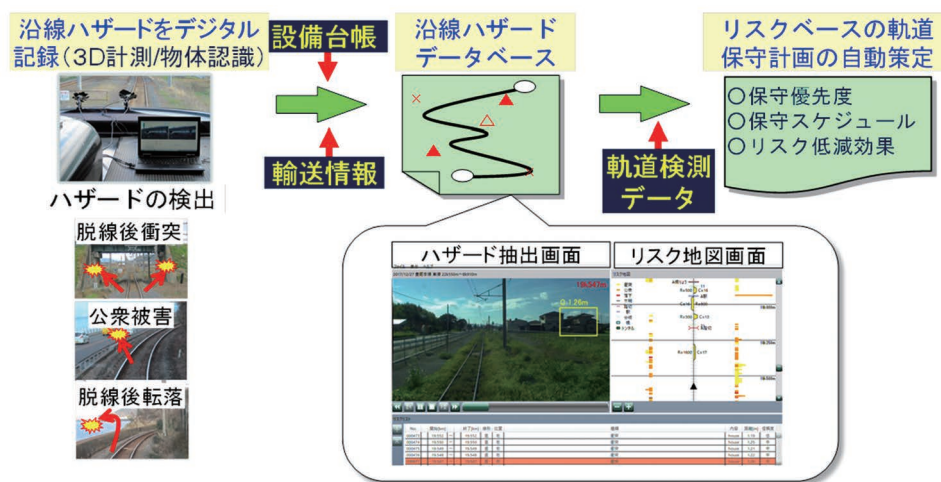


図5 リスクベースの軌道保守計画策定システム

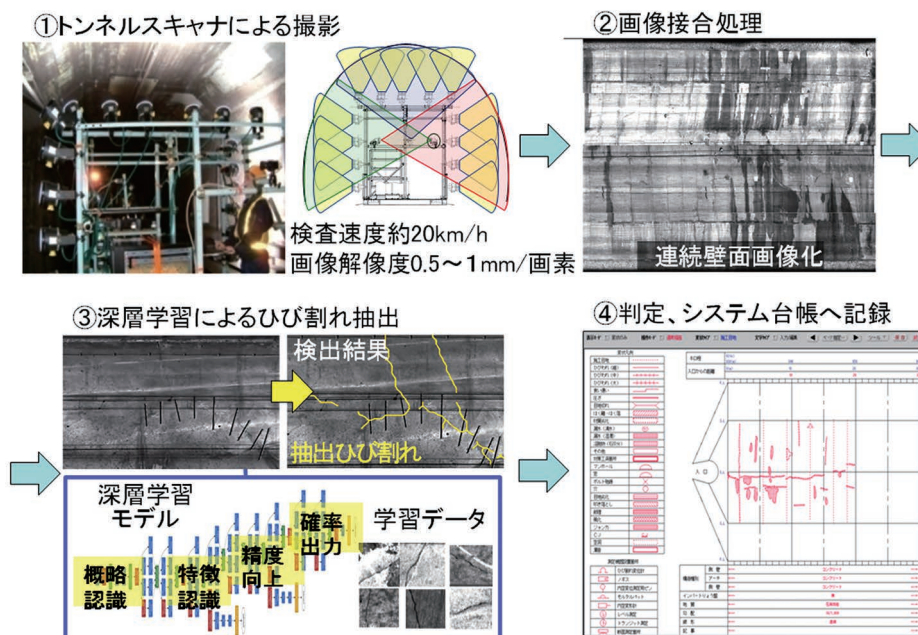


図6 トンネル覆工のひび割れ検出システム

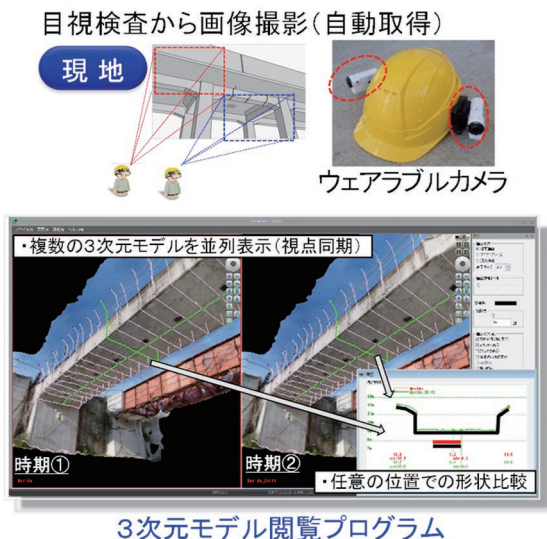


図7 構造物の目視検査支援システム

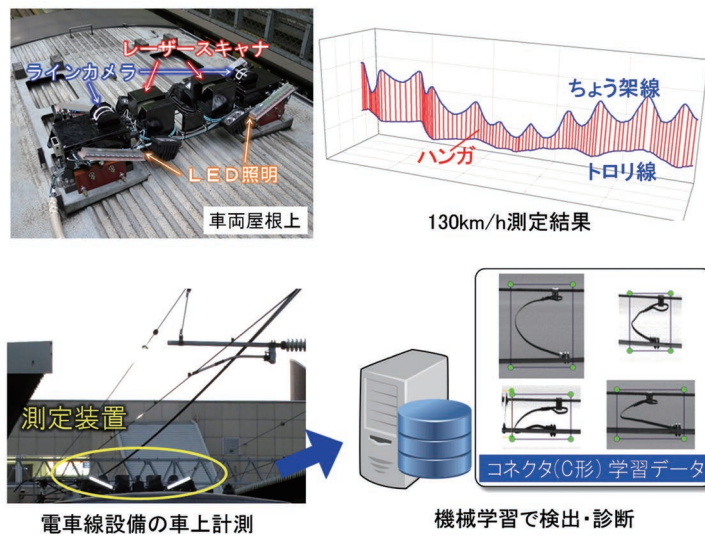


図8 電車線設備の車上・非接触計測装置

より90%以上の確率でひび割れを識別し、ひび割れ展開図の自動作成が可能となった。

構造物の目視検査の支援ツールとして、「構造物の目視検査支援システム」を開発した(図7)⁶⁾。画像取得・3D画像処理技術を活用し、巡回時に画像データを取得し、3D画像の構造物がデジタルデータとして、タブレット等で認識できれば、次の巡回時に過去の3D画像の構造物と現物を直接的に比較できる。さらに再検査の場合、PC内の3D画像の構造物に対して目視検査が可能となる。構造物の目視検査支援システムとして、徒歩巡回によって得られた構造物画像から3D画像に変換可能なプロトタイプシステム(SfM: Structure from Motion)を構築し、現在、試行試験段階にある。なお、これらはアジア航測(株)との共同研究で実施した。

(3) 電車線設備

鉄道総研では、車両の屋根上にラインカメラ・レーザーセンサを搭載し、「電車線設備の車上・非接触計測装置」を開発した(図8)⁷⁾。従来、手作業で計測していた架線の静的な高さや左右偏位が、車両から計測可能となる。車両の屋根上にラインカメラ・レーザーセンサを搭載し、ラインカメラによる撮影画像の解析と、レーザーセンサによる物体の位置測定データを併用することで、架空電車線の各線条の位置を非接触で高精度に計測できる。現在、在来線130km/hの走行速度で、昼夜測定でトロリ線高さの精度が10mm以内のレベルにある。その他、機械学習を用いた電車線設備の金具等の画像データからの自動検出技術や、これらの異

常検出技術を開発中である。なお、これらは(株)明電舎との共同研究で実施した。

3.2 これまでの取り組みと課題、解決策

鉄道設備のメンテナンスへのデジタル技術の活用例を示した。これまでの取り組みは、技術要素として「非接触計測及び画像」を用いた軌道、構造物、電車線設備の個々のメンテナンスの省力化に寄与するもので、特に鉄道設備の状態の把握(認知)が中心であった。これにより、軌道・電車線設備では、車上計測や状態監視の研究開発はなされているものの、現状値・予測値も踏まえた異常検知まで達していない(例えば、飛来物や一部の電車線破断、レール破断や締結装置異常など)。一方、構造物では、3D画像による構造物の目視検査支援の段階であるが、2年毎に実施される現地での目視検査に頼る。したがって、軌道・構造物・電車線設備に突発的な異常が発生した場合、輸送障害や場合によっては事故となる。これらの場合、復旧に時間や労力を要し早期復旧には課題が残る。

解決策として、構造物も含めた軌道・電車線設備の車上計測を前提として、これらのデータをネットワークで繋ぎ、現状の状態の把握(認知)はもちろんのこと、予測・判断の自動化により、認知・予測・判断の高速化・即時性の強化を図ることが挙げられる。つまり、平常時では車上から軌道・構造物・電車線設備を監視(認知)し、変状の進行を推定(予測)し、検査・診断により補修・修繕計画の策定(判断)を行う。一方、異常時では、軌道・構造物・電車線設備の異常を早期に検知し、被害拡大

の防止、発生箇所の同定、要因推定等の復旧支援(判断)を行う。このような鉄道設備のメンテナンスをデジタルメンテナンスと呼ぶこととする(図9)。

4. デジタルメンテナンス

4.1 デジタルメンテナンスとは—RESEARCH 2025の取り組み—

デジタルメンテナンスでは、「車上計測/ネットワーク/予測・判断の自動化」を技術要素として、5つの研究課題を設定した(図10)。これらは、「車上計測/ネットワーク」が主体である、軌道・構造物分野の「車上計測による軌道・構造物の異常検知技術」、電車線設備分野の「車上計測による電車線設備の異常検知技術」であり、軌道・構造物・電車線設備のメンテナンス情報の一元管理を図る「共通データプラットフォームによるメンテナンスデータの一元管理」の他、「地上・

車上計測/ネットワーク」が主体の「電力機器のネットワーク監視による異常検知技術」と「インテリジェント分岐器による制御・状態監視技術」からなる。なお、以下の4.2及び4.3では「車上計測/ネットワーク」が主体の3つのテーマを概説する。

4.2 車上計測による軌道・構造物・電車線設備の異常検知技術

(1) 車上計測による軌道・構造物の異常検知技術

平常時も含め車上から軌道・構造物の異常を検知し、検査の省力化、及び異常時の早期復旧を図るものである。軌道検測データと軌道・構造物の変状・異常を結び付け、データ分析・実模型実験等から、変状・異常の分類、変状の進行予測、及び異常検知技術を構築する(図11)。

(2) 車上計測による電車線設備の異常検知技術

平常時も含め車上から電車線設備の異常を検知し、車両走行による被害拡大回避のため、パンタグラフを

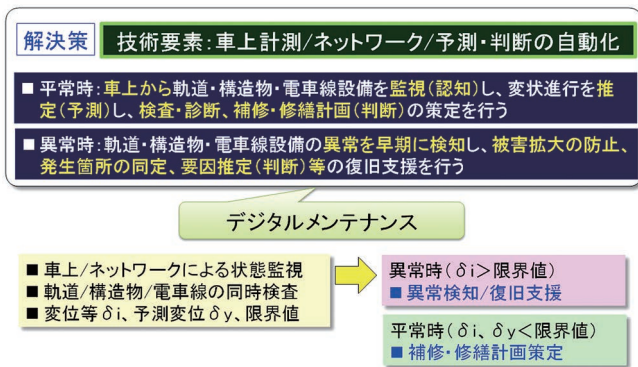


図9 課題解決の方向性とデジタルメンテナンス

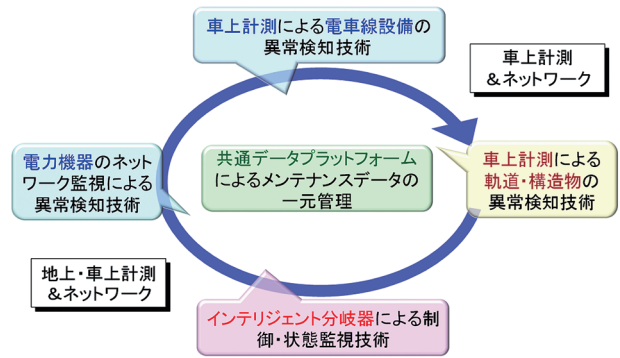


図10 デジタルメンテナンスとは—RESEARCH 2025の取り組み—

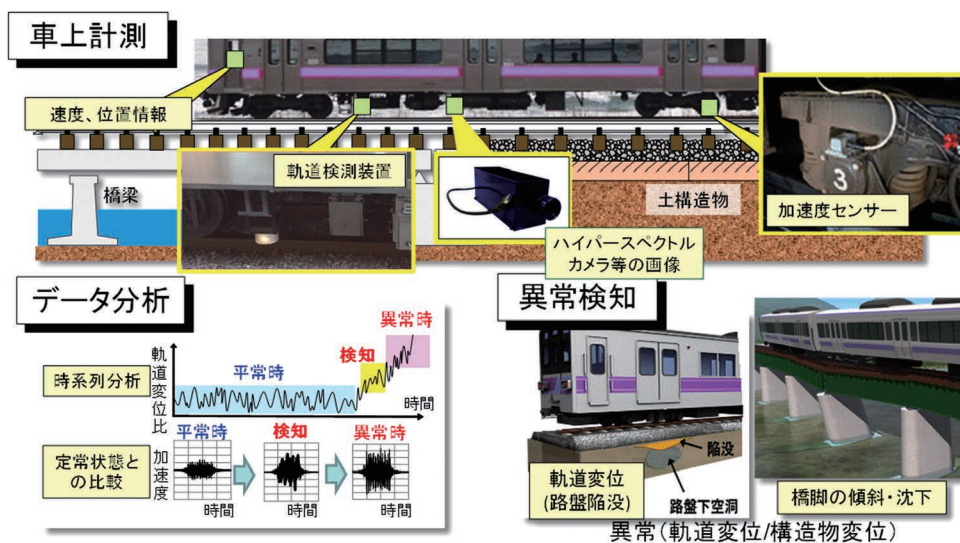


図11 車上計測による軌道・構造物の異常検知技術

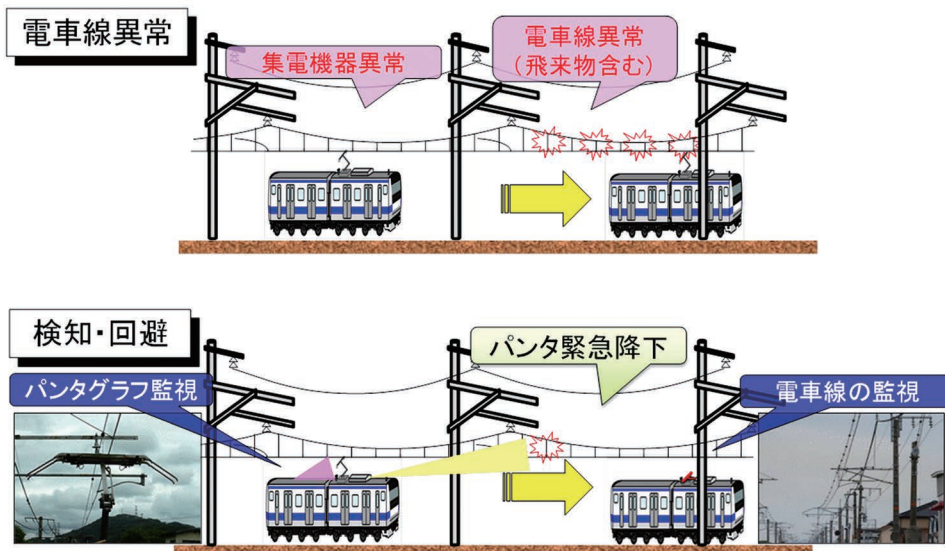


図 12 車上計測による電車線設備の異常検知技術

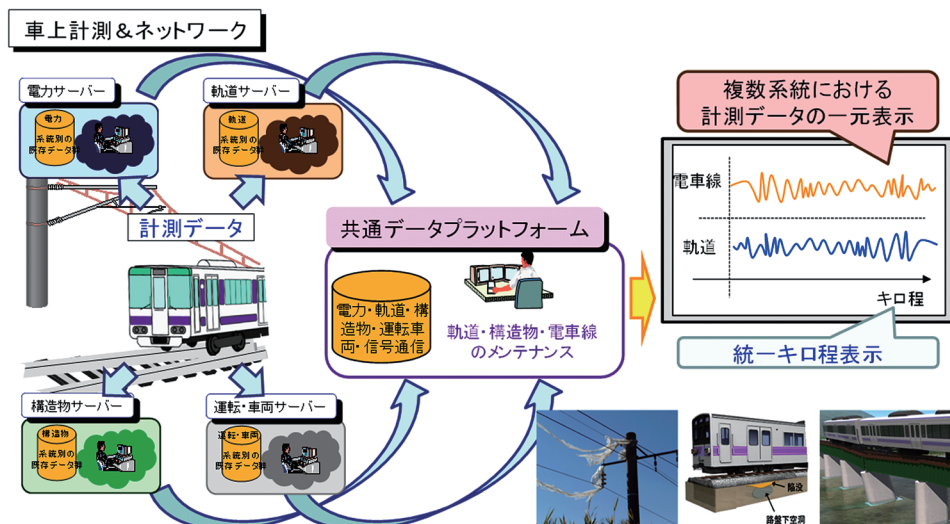


図 13 共通データプラットフォームによるメンテナンスデータの一元管理

緊急降下させ、検査の省力化及び異常時の早期復旧を図るものである。電車線検測データと電車線設備の変状・異常を結び付け、データ分析・実模型実験等から、変状・異常の分類、変状の進行予測、及び異常検知技術を構築する(図12)。

4.3 共通データプラットフォームによるメンテナンスデータの一元管理

軌道・構造物・電車線設備の車上・同時検測と系統別設備のメンテナンスデータの一元管理によって、平常時には軌道・構造物・電車線設備の検査・診断の省力化と、徒歩巡回等では検出できなかった走行時異常

の検知を可能とするものである。前述の「4.2 車上計測による軌道・構造物・電車線設備の異常検知技術」の個々の研究成果を生かしつつ、同時検測時に有機的に機能するためには、個々の系統別サーバーを残しつつ、スモールスタート可能な共有データプラットフォーム・ネットワークからなるシステム構成とするのが良いと考えられる。さらに基盤技術として、系統別設備の管理キロ程を統一キロ程へ変換する位置変換機能も必要となる。これにより、既存のメンテナンス業務を行いつつ、軌道・構造物・電車線設備の車上・同時検測と、統一キロ程によるメンテナンス情報の一元管理を可能とする(図13)。

車上・同時検測と統一キロ程による軌道・構造物・電車線設備の一元管理の例として、各種構造物が存在する路線での鉄道設備の変状・異常箇所の抽出例を示す(図14)。車上・同時検測・統一キロ程による一元管理により、路線の軌道検測データからスクリーニングとして、構造物の変状・異常箇所の抽出の可能性があるほか、同様に電車線異常の発生リスクも高いことから、路線上の注意箇所としてのリスク管理の実施が見込める。さらに、車両走行時にしかわかり得ない鉄道設備の変状・異常の検知の可能性を有することから、事前検知の観点からも有用性が高い。

5. 鉄道設備のメンテナンスの未来像

デジタルメンテナンスでは、「車上計測/ネットワーク/予測・判断の自動化」を技術要素として、軌道・構造物・電車線設備の同時検測・異常検知技術を構築することで、平常時には鉄道設備全体の検査の省力化、補修・修繕計画の策定支援を図り、異常時には鉄道設備の異常を早期に検知し、被害拡大の防止、発生箇所の同定、要因推定等の復旧支援を行うことを1つの完成系のイメージとしている(図15)。特に構造物のメンテナンスでは、構造物の車上計測技術を高め「車上

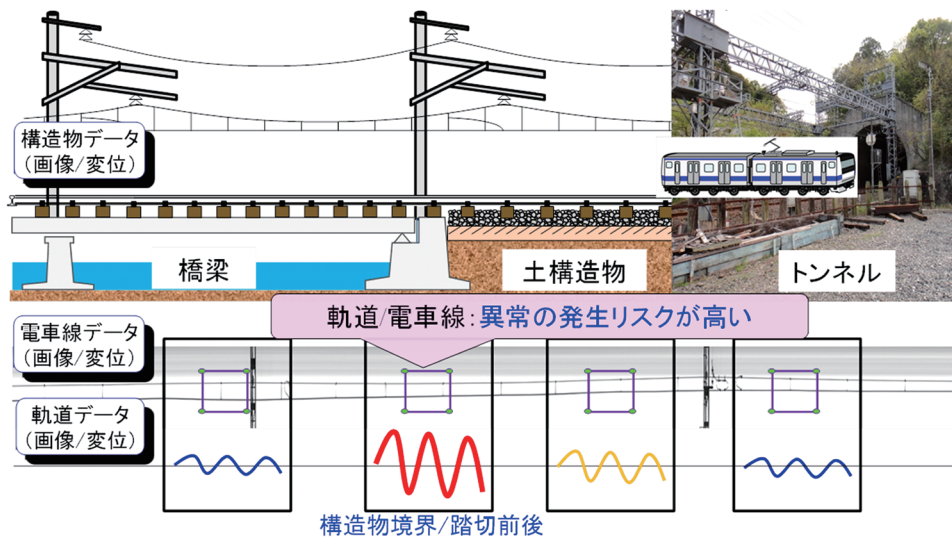


図14 車上・同時検測と統一キロ程による軌道・構造物・電車線設備の一元管理の例

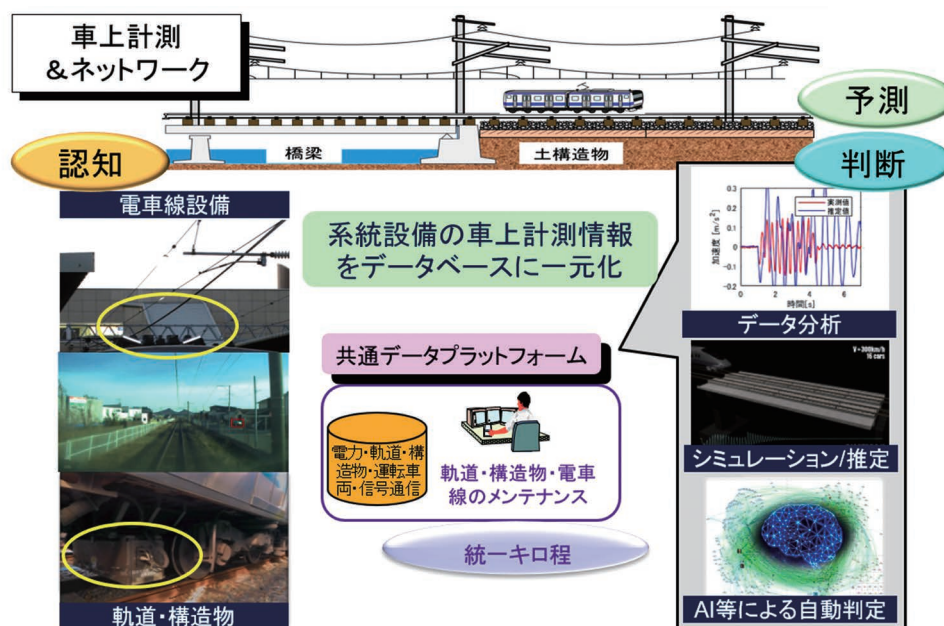


図15 鉄道設備のメンテナンスの未来像

からの構造物の変状・異常検知」をスクリーニングとして用いることで、従来の構造物個々の目視検査の省力化や、目視検査ではわかり得ない構造物の変状・異常検知の可能性がある。

一方、ローカル線等の車両の運行密度が高くない路線では、上述の「車上計測」による軌道・構造物・電車線設備の異常検知技術に特化し、メンテナンスデータを車上に集約し、車上完結型の検査システムとすることで、現状のメンテナンス業務を圧迫させることなく、有機的に結び付きメンテナンス業務の省力化に繋がるものと考えられる。

6. おわりに

鉄道設備のメンテナンスの省力化に関わる研究開発を進捗させるには、研究開発のみならず、運用方法・体制等の仕組みづくりも含めたアプローチが必要である。大手の鉄道事業者のみならず、あらゆる鉄道事業者が活用できるデジタルメンテナンスを研究開発し、共有、あるいは各鉄道事業者に合わせたカスタマイズ等も必要不可欠と考えている。

今後とも鉄道総研の鉄道設備のメンテナンス研究、及び研究成果の実務への実装に、継続的に御支援と御協力をお願いしたいと考えている。

参考文献

- 1) 久保俊一：ICTの活用による鉄道メンテナンス技術の革新，第29回鉄道総研講演会，pp.2-9, 2016.
- 2) 坪川洋友，矢澤英治，小木曾清高，南木聡明：車体装架型慣性正矢軌道検測装置の開発，鉄道総研報告，Vol.26, No.2, pp.7-12, 2012.02
- 3) 田中博文，山本修平，大島崇史，三和雅史：高頻度検測データに対応した軌道変位の局所的な急進箇所抽出・予測法，鉄道総研報告，Vol.31, No.12, pp.41-46, 2017.12
- 4) 清水惇，三和雅史：画像解析技術を活用した軌道のリスクベースメンテナンス法の開発，鉄道総研報告，Vol.33, No.2, pp.5-10, 2019.2
- 5) 鶴飼正人：深層学習を用いたトンネル覆工面のひび割れ検出手法の開発，鉄道総研報告，Vol.32, No.5, pp.5-10, 2018.5
- 6) 小林裕介，松丸貴樹，長峯望，新名恭仁：土木部門構造物検査特集 各社の取組み－鉄道総研 SfM技術による三次元モデルを用いた目視検

査支援システム，日本鉄道施設協会誌，Vol.57, pp.32-33, 2019.2

- 7) 松村周，根津一嘉：画像とレーザを用いて電車線を検測する，R R R, Vol.74, No.7, pp.16-19, 2017.