

# デジタルメンテナンスによる省力化



福田 光芳

Mitsuyoshi Fukuda

前 情報通信技術研究部長  
(現 信号技術研究部長)

## はじめに

鉄道を安全かつ安定して運行するためには、鉄道設備のメンテナンスが重要です。しかし、少子高齢化、労働人口の減少の影響は大きく、メンテナンスの要員確保が困難になっています。その一方で、センサー技術や通信ネットワーク技術の進展により、これまで得られなかった多くのデータを取得し、蓄積できるようになっています。さらに、高度な分析技術やAIにより、蓄積したデータの活用の幅も大きく広がって

います。そこで、大課題「デジタルメンテナンスによる省力化」では、これらの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などによるメンテナンスの省力化・省人化を目指す研究開発に取り組みました。

## 状態監視技術による省力化

メンテナンスにおいては、作業員が現地に赴いて設備の検査等を実施している場合がありますが、この検査を自動・無人で行えれば、省力

図1 列車の揺れを計測するアプリケーション

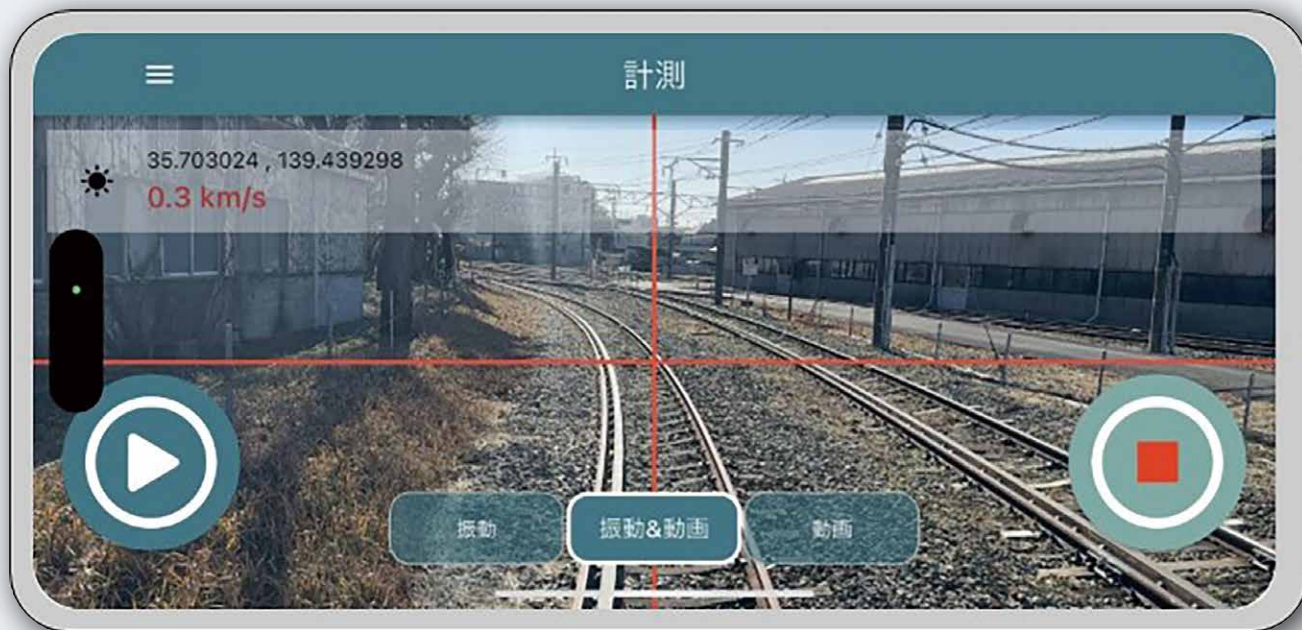




図2 前面ガラスへの取り付け状況

化・省人化を進めることができます。個々の装置設備ごとに遠隔監視するシステムを導入している事例も多いですが、車上に状態監視のため装置を設けることにより、走行しながら広い範囲の設備を検査することが可能になります。

### 軌道の状態監視

軌道の分野では、**軌道変位**<sup>④</sup>の各項目に対して安全上の余裕を考慮した管理値を設定し、それを超過した箇所について一定期間内に修繕を行っています。この軌道変位は規模の大きな鉄道事業者では、専用の軌道検測車によって定期的に計測されていますが、軌道検測車は高価であるため、比較的大きい規模の鉄道事業者以外では保有するのが難しいという実情があります。一方で軌道検測車の測定結果の一部につい

ては、列車の揺れと相関が高いことが分かっています。そこで、スマートフォンを用いて列車の揺れを計測するアプリケーションを開発しました(図1)。計測された列車の揺れのデータをもとに修繕する箇所を検討することができます。走行時にスマートフォンを列車前面ガラスに固定し(図2)、アプリケーションを動作させるだけで測定ができますので、高頻度に計測する場

#### ④ 軌道変位

軌道の正規の位置からの「ずれ」のことを「軌道変位」といいます(鉄道事業者によっては「軌道狂い」と表記します)。軌道変位が大きくなると車両の円滑な走行が阻害され、乗り心地の悪化や安定性の低下につながるため、定期的に検査をして状態を把握し、必要に応じて軌道整正作業(軌道保守)が行われます。

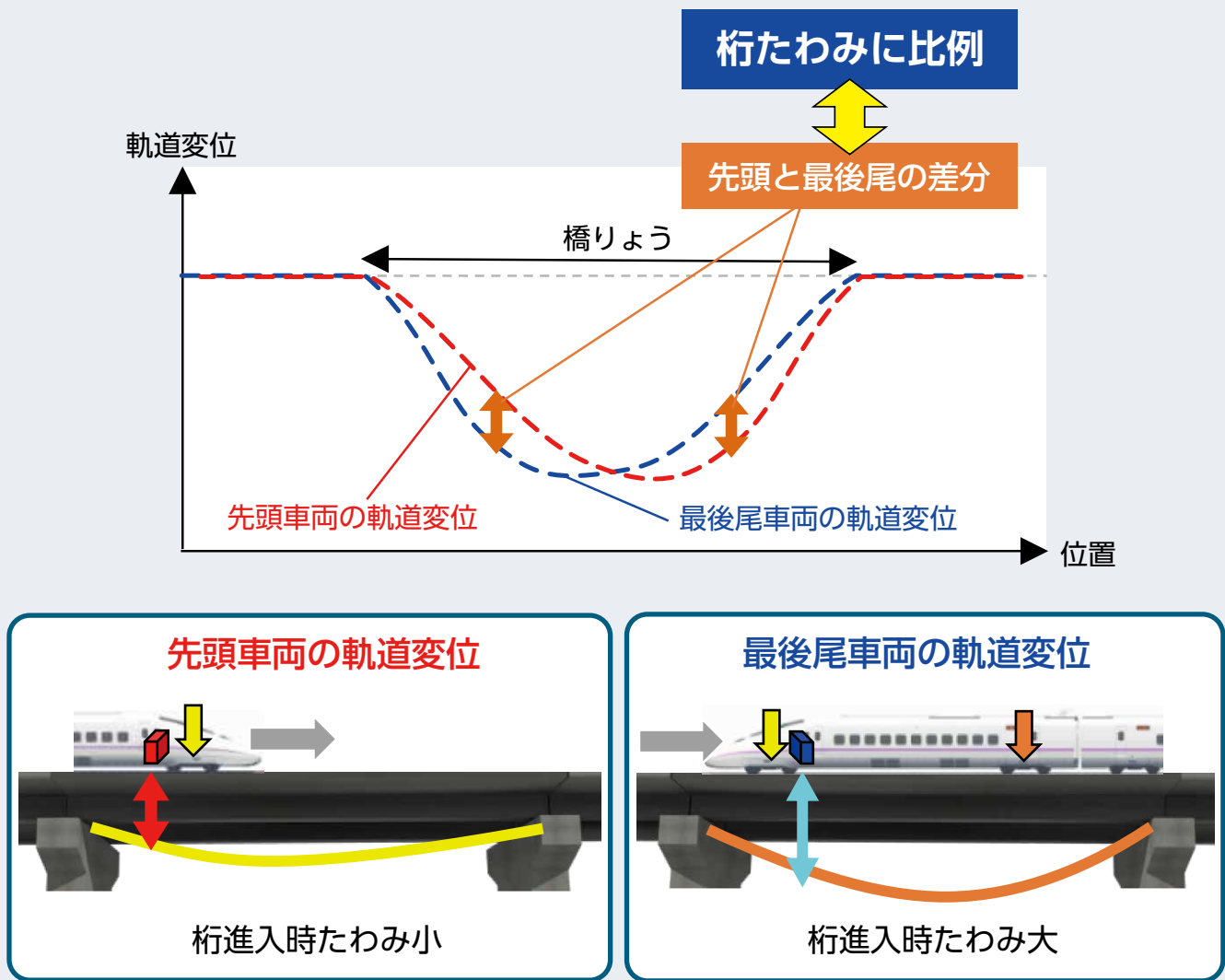


図3 先頭・最後尾車両の軌道変位の差分から推定する手法を構築

合でも負担になりません。また、列車の揺れの計測と同時に列車前方の画像も取得できますので、軌道状態の確認のほか、他系統設備の確認にも応用できます。

### 橋りょうの状態監視

橋りょうのメンテナンスには、桁たわみと支承あおりの検査があります。長大な路線を持つ鉄道事業者では、多数の橋りょうの検査を実施するために多大な労力を要しているため、これらの検査の省力化が望まれています。そこで、先述の軌道検測車の計測データを活用して、桁たわみを推定する手法、支承あおりを検知する手法を構築しました。

まず、軌道変位と桁たわみの関係を調べたと

ころ、先頭車両が桁に進入した時の軌道変位と最後尾車両が桁を進出する時の軌道変位の差分が、桁たわみに比例することがわかりました(図3)。この性質を利用して桁たわみを推定する手法を構築しました。

また、支承あおりの検知は、解析により支承あおりが軌道変位に及ぼす影響を解明し、単純桁が連続する区間で適用可能な軌道変位を用いた支承あおりの検知手法を開発しました。

### 電車線とパンタグラフの状態監視

パンタグラフや電車線の異常が発生すると、連鎖的に広範囲の電車線が損傷したり、編成内のパンタグラフが全損するなど、大規模な輸送障害につながる場合があります。そこで、パン

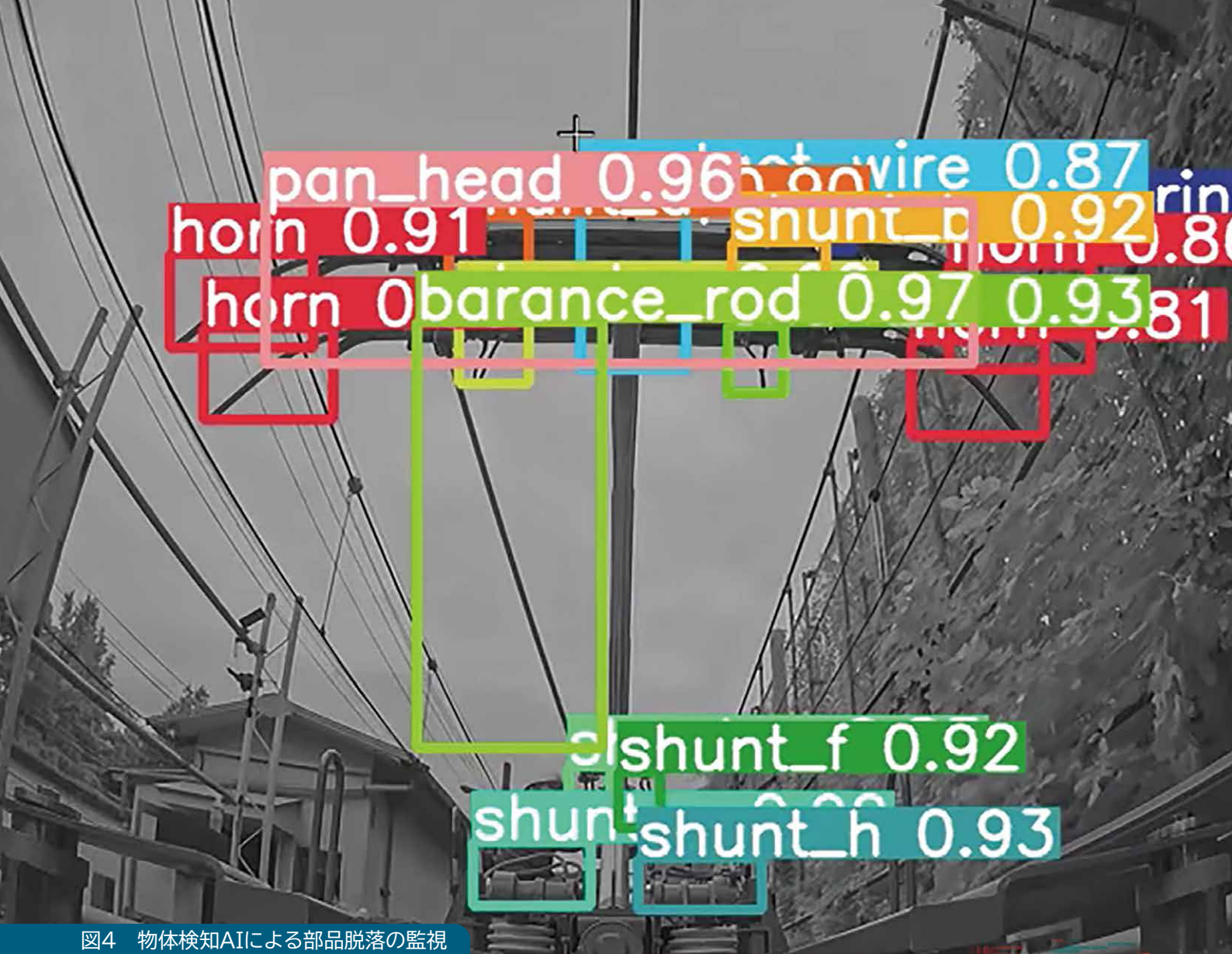


図4 物体検知AIによる部品脱落の監視

タグラフや電車線の状態監視を行い、異常を検知した場合にパンタグラフを自動降下させ、損傷の連鎖を回避する方法を開発しました。電車線の破損範囲が小さかったり、編成内に破損していないパンタグラフが残っていれば、その後の復旧が相対的に早くなりますし、復旧作業の省力化・省人化につながります。

パンタグラフの状態監視は、物体検知AIを用いてパンタグラフの各部品の有無を判定する方法を開発しました(図4)。部品脱落を約1秒で検知可能です。電車線の状態監視は、列車前方から電車線周辺に存在する不特定の飛来物を検知する方法を開発しました。さらに、パンタグラフ自動降下システムを試作し、パンタグラ

フ部品脱落や電車線飛来物を1秒以内に検知してパンタグラフの自動降下が可能であることを確認しました。

### 省人化・省力化できる設備の開発

状態監視だけでは十分な効果を得にくい場合は、省人化・省力化のために設備をリニューアルすることも考えられます。そこで、メンテナンスの省人化・省力化が可能な分岐器の仕組みを開発しました。

現在の分岐器には、まくらぎ間に転換のためのロッド(棒)があって道床のつき固めができない箇所がある、転換する装置等の調整が難しく、手間がかかるといった課題があります。ま

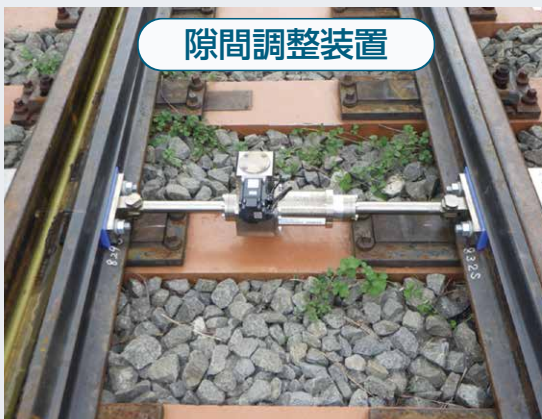
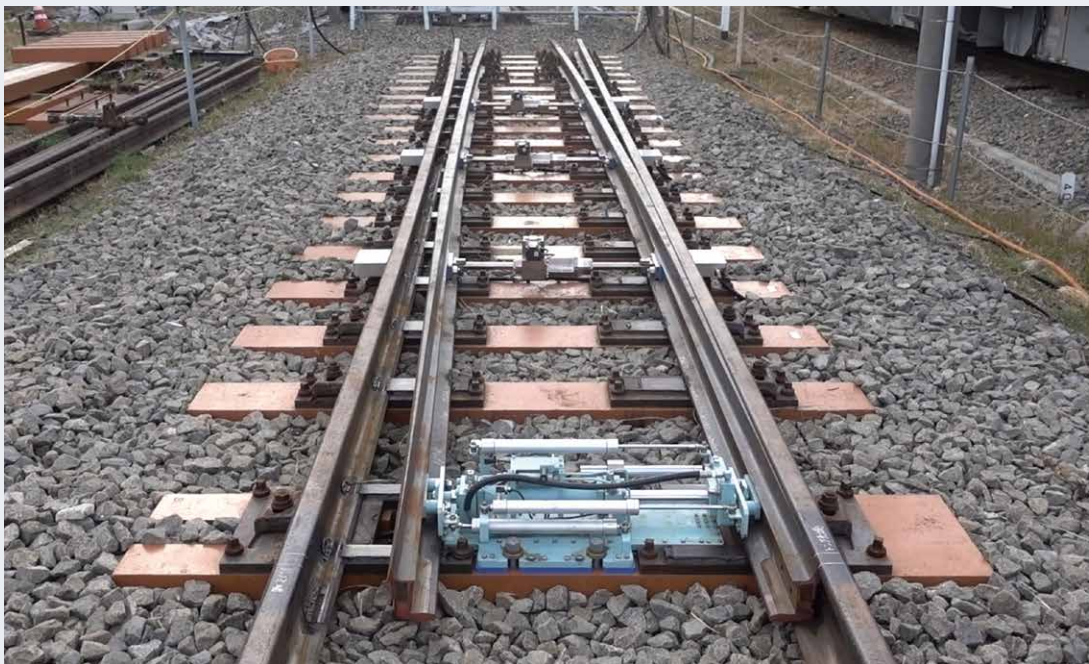


図5 試験用ポイントへの敷設状況

た、ひとたび転換不能が発生すると、輸送に大きな影響を与える可能性があるのに、転換不能の予兆を検知することが難しいという課題もあります。

開発した分岐器を図5に示します。すべての装置類がまくらぎ上に配置されているので、道床のつき固め作業が可能となり、軌道の弱点箇所をなくすことができます。転換する仕組みとしては、1台の転換装置でポイントを転換させた後、隙間調整装置が自動的にレールの位置を調整します。これにより、難しい調整作業が不要となります。また、転換時の負荷をモニタリングすることにより、油切れなどの状態を判別し、転換不能を事前に検知することが可能になります。

## デジタルデータの共有・分析

### 統合分析プラットフォーム

鉄道分野では、メンテナンスなどのデータは系統ごとに取得・蓄積され、それぞれの系統の中で分析方法や活用方法が工夫されてきました。その一方で、鉄道は車両・軌道・電気などが相互に影響する複雑なシステムです。他系統のデータを共有して、横断的に分析・活用することにより、これまで分析できなかった事象を検出できる可能性があります。そこで、複数系統のデータを一元管理し、系統横断的な分析などに活用できる「統合分析プラットフォーム」を開発しました(図6)。

鉄道では系統ごとに異なる位置表現(キロ程など)を用いていることが、系統横断的にデー

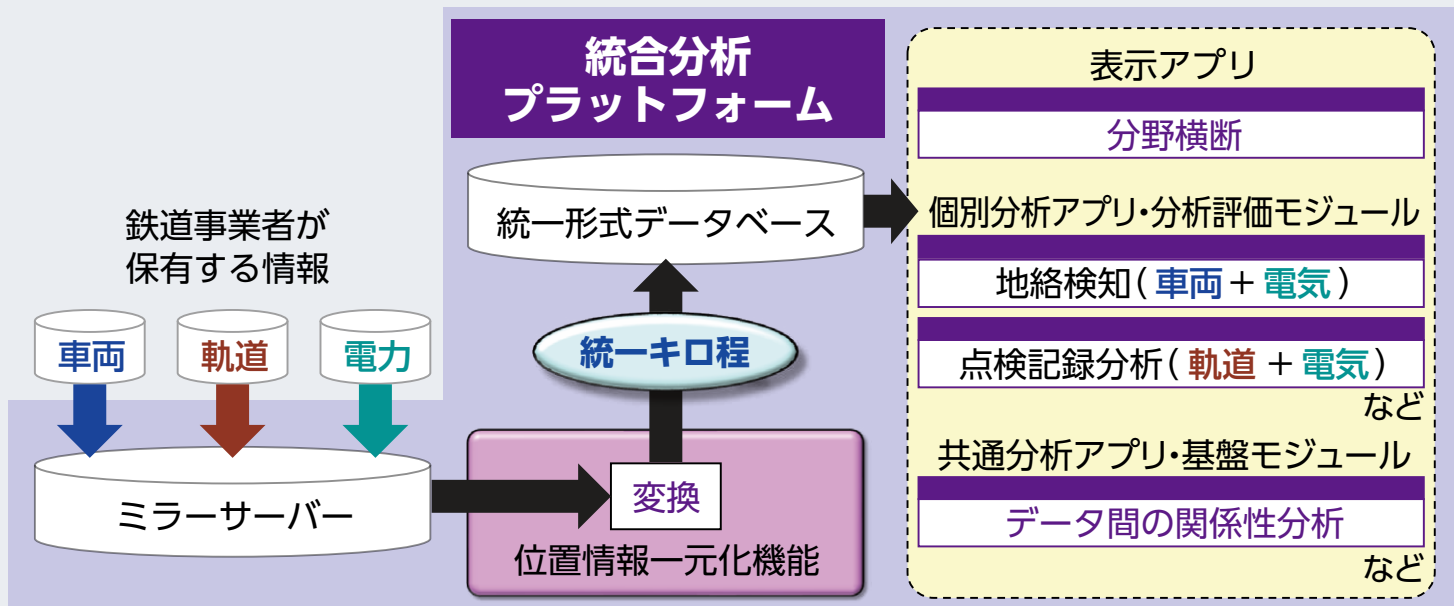


図6 統合分析プラットフォーム

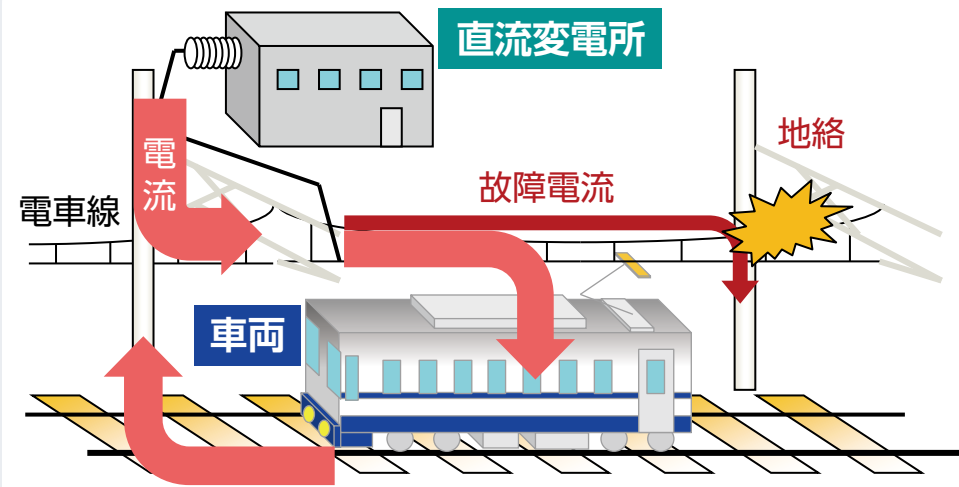
タを活用する際の課題でした。統合分析プラットフォームでは、線路上の位置を一意に指定できる「統一キロ程」を用いて管理します。各系統の位置表現と統一キロ程は相互に変換できるので、統一キロ程を介して、他系統の位置表現のデータを自系統の位置表現で分析することができるようになりました。

次に、統合分析プラットフォームを活用することにより構築が容易となる事例を紹介します。

### 電力ネットワーク監視による早期異常検知

変電所には様々な監視機能があり、過電流な

どを検知して設備を保護するようになっていますが、直流電化区間の高抵抗地絡故障は、故障電流が列車の電流と同程度以下になるので、これを検知するのが困難でした。一方、列車の集電電流(車上電流)と変電所からの供給電流(地上電流)とを取得し、差分を算出できれば、故障を検知することができるはずですが、このアイデアは古くから提唱されていましたが<sup>8)</sup>、近年の通信技術をはじめとしたICTの進展に伴い実現可能性が高まってきました。車両系統のデータである車上電流および列車位置、電力系統



変電所からの  
電流の一部が漏洩  
(100A程度)

→変電所における  
電流監視では  
検知困難

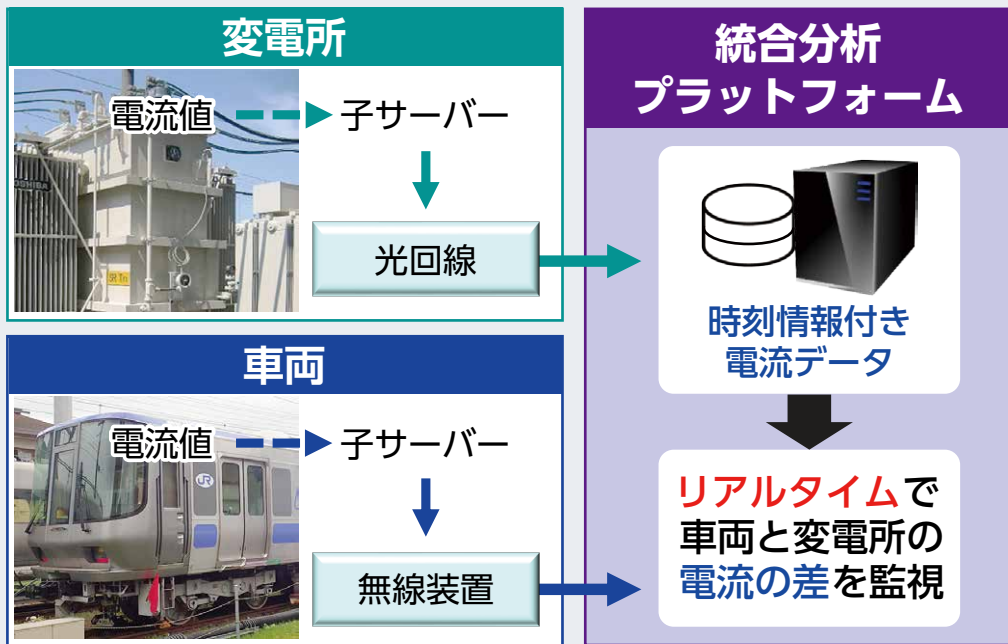


図7 電力ネットワーク監視のイメージ

のデータである地上電流を統合分析プラットフォームでそれぞれ集約し、逐次、差分の電流を算出してしきい値と比較することにより高抵抗地絡を判別します(図7)。鉄道総研の所内試験線で複数変電所や複数列車などの条件を模擬し、高抵抗地絡発生後1分以内に地絡を検知できることを確認しました。

### 設備検査記録に基づくアセットマネジメント

日常のメンテナンス業務では、センサー等により計測されるデータのほか、技術者が定期的に設備を検査し記録した目視検査データが多く蓄積されています。このような蓄積された検査

データは○(健全), △(要調整), ×(異常)など簡易な評価であるものの、長年の蓄積によりビッグデータになっています。これらのデータは、なかなか有効活用することができませんでしたが、その背後に存在する不具合発生 of 統計的な性質を、統計的モデルにより抽出することで、既存の検査周期の見直しに活用できます。そこで、統合分析プラットフォームに蓄積されたデータを活用して設備の不具合発生を予測するモデルを開発しました。実線区の280台の電気転てつ機を対象として構築したモデルにもとづいて、検討したところ、数台の電気転てつ機

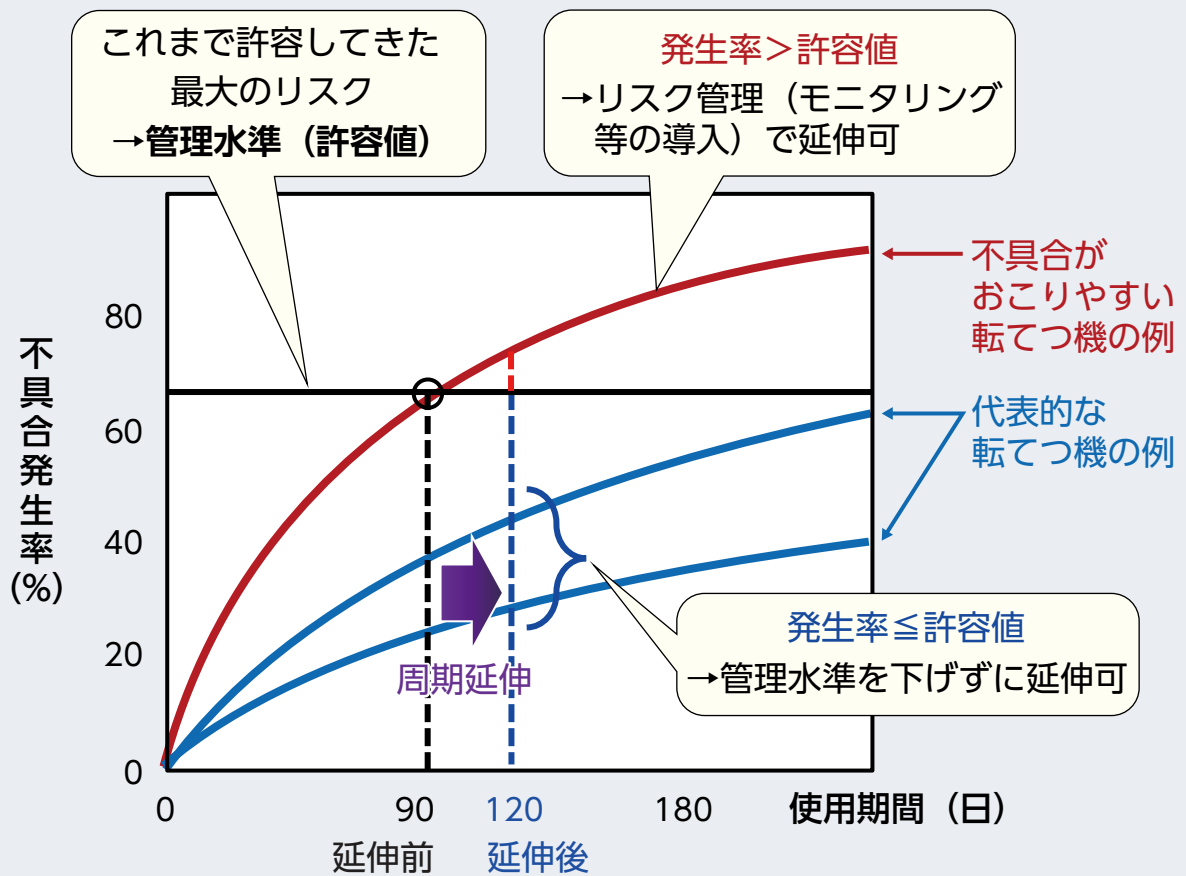


図8 アセットマネジメントによる検査周期延伸の考え方

を除いたほとんどは、検査周期を約1.3倍に延伸しても、これまで許容されてきた不具合の発生率を超えないことがわかりました。

### おわりに

デジタル技術による鉄道設備のメンテナンスの省力化・省人化を目指した各系統の研究開発成果と、分野横断的にデータを共有・分析するための統合分析プラットフォームについて紹介しました。今後は、それぞれの成果の実用化を進めるとともに、統合分析プラットフォームを有効活用するための取り組みを進めていく予定です。

なお、本研究の一部は、それぞれ、東京大学、ミラノ工科大、筑波大学、四国旅客鉄道株式会社、大阪大学との共同研究により得られたものです。RRR

### 文献

- 1) 田中博文, 趙博宇, 蘇迪, 長山智則: 携帯情報端末を活用した低コストな列車巡視支援方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.39, No.1, pp.21-29, 2025
- 2) 松本麻美, 三和雅史, 大山達雄: クラスタ分析による軌道変位異常箇所検知法を活用した軌道管理, 鉄道総研報告, Vol.37, No.2, pp.13-18, 2023
- 3) 服部紘司, 松岡弘大, 田中博文: 数値解析による車上計測された軌道変位に橋りょう支承あおりが及ぼす影響評価, 鉄道総研報告, Vol.39, 3, pp.31-38, 2025
- 4) 松岡弘大, 田中博文: 車上計測された軌道変位に基づく鉄道橋の準静的な桁たわみ推定法, 土木学会論文集, Vol.79, No.15, ID.22-15051, 2023
- 5) 松村周: 物体検知AIを用いたパンタグラフモニタリング手法の基礎検討, 電気学会リニアドライブ/交通・電気鉄道合同研究会資料, LD-25-016/TER-25-016, 2025
- 6) 細見章人, 玉川新悟, 上田将司, 大高亮輔: 分岐器ポイント部における転換・隙間調整用の解析モデルの構築, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会
- 7) 上田将司, 細見章人, 玉川新悟: 分岐器ポイント部の隙間調整に必要な力の測定と隙間調整用装置の設計, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会
- 8) 流王智子, 河村裕介, 羽田明生, 栗田いづみ: 分野をまたがる鉄道メンテナンスデータの統合分析プラットフォームの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.51-56, 2022
- 9) 電気学会直流電気鉄道における保護技術調査専門委員会: 直流電気鉄道における保護および保護協調に関する調査, 電気学会技術報告, No.II-542, 1995
- 10) 赤木雅陽, 近藤稔, 今村謙汰, 河村裕介, 流王智子: 地絡検知用電力ネットワークモニタリングシステムの基礎検証, 鉄道総研報告, Vol.38, No.10, pp.7-14, 2024
- 11) 稲場亘, 松岡弘大, 為広重行: 検査記録の不備性を考慮した転てつ機の統計的不具合発生予測, 鉄道工学シンポジウム, 土木学会, No.28, 2024