

最近の軌道技術に関する研究開発と今後の展望

片岡 宏夫*

Recent Research and Development Activities of Track Technology and Future Outlook

Hiroo KATAOKA

Master plan of RTRI started from 2020. Following the plan, we promote research and development for the labor-saving in the track maintenance work on the utilization of the ICT. This report shows the research results for track technology performed in the previous master plan and introduce the research policy along the new research plan. Research results includes the activity for the integrated data management system for railway infrastructure, the development of the supporting system of track patrolling on train and the detecting method of loosen sleeper in the ballasted track. In future, we aim re-construction of inspections for track by using digital technology and improved prediction method.

キーワード：デジタル技術，省力化，検査，状態監視保全

1. はじめに

鉄道総研では2020年度より5年間にわたる新しい基本計画 RESEARCH 2025 がスタートした。鉄道を取り巻く状況は大きく変化しており、今後の設備の老朽化や国内の少子高齢化に伴う労働力不足を背景として持続可能な鉄道のために大幅な省力化・自動化や低コスト化が求められている。

軌道の維持管理では長大な設備の老朽化や省人化が大きな課題であり、鉄道事業者において生産性向上が図られている。鉄道総研においても持続可能な線路を実現するために、デジタル技術の進展を背景に、低コスト化、省力化、安全性向上に資する技術開発を進めてきた。

本報告では、これまでの研究開発を概観するとともに、今後の方向性を展望する。

2. RESEARCH2020 における軌道の技術開発

前基本計画 RESEARCH2020 では①安全性の向上、②低コスト化、③利便性の向上、④環境との調和を研究開発の方向として、基礎から実用的な技術開発、将来に向けた研究開発まで2015～2019年度の5年間で幅広く研究開発を行ってきた。軌道の分野においても、表1に示すような研究開発を進めてきており、現地での実用展開や各種の評価に用いられている。

ここでは、代表的な成果を紹介する。

- (1) 高頻度検測のための位置合わせ手法と軌道変位急進箇所抽出・予測法

表1 RESEARCH2020 における研究成果

分類	項目
デジタル技術を活用した保守管理	慣性正矢軌道検測装置のレール変位検出精度の向上 高頻度検測のための位置合わせ手法と状態監視への適用 中長期の保守計画策定支援システム リスクベースメンテナンス手法 画像分析を活用した線路巡視支援システム 低コスト動的軌間・平面性測定システム
低コスト化・省力化	レールの頭部損傷の補修工法 レールの防食工法 レール締結装置の性能評価法 伸縮継目の弾性支持構造 S型弾性まくらぎ直結軌道 スラブ軌道の劣化判定手法 RFWD（可搬型軌道支持剛性測定装置） 低廉な道床バラストの機能回復工法 低コストロングレール軌道構造
現象説明・シミュレーション技術の開発	波状摩耗の進展機構の解明 レールのき裂進展評価・寿命評価 道床バラストの劣化予測と判定法 分岐器走行シミュレーション レール開口部の走行安全性評価

現在、営業車による慣性正矢法を用いた高頻度な軌道検測が導入されており、これにより軌道の状態監視保全(CBM)の開発が進んでいる。相互相関法による軌道変位波形の位置合わせ法は、異なる時期に測定された波形を区切って波形間の類似度を判定して位置補正を行う技

* 軌道技術研究部長

術である（図1）。これにより、高頻度な軌道検測データを効率的に処理し、履歴データの推移を確認できる。軌道変位・乗り心地管理の予測や軌道変位の急進箇所の抽出などにすでに活用されている。

また、異なる種類の波形データの位置合わせができるため、それらのデータを組み合わせた分析が可能であり、軌道のCBMの基礎をなす技術となっている。

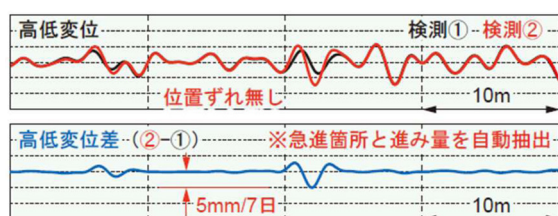


図1 相互相関法による軌道変位波形の位置合わせ

(2) リスクベースメンテナンス手法

リスクベースメンテナンスは、脱線事故リスクを考慮して軌道の維持・管理の基準や保守優先度を検討する手法である。また、列車先頭画像を処理し、リスクの沿線分布を自動的に把握して視覚化するリスクセンシングシステムを開発しており、後述する画像処理技術が活用される。本手法により、高リスク箇所の保守を優先し、線区の安全性をトータルに向上させることができる。

(3) レール頭部損傷の補修工法

本補修工法は営業線でしばしば発生する単発の頭頂面シェリングのような頭部傷に対し、頭部を局所的に切り取り、テルミット溶接により補修する技術である。傷レールの交換に伴う設定替えなどや溶接を省略することができる。これまでに熱処理レールへの適用拡大や、直結系軌道で使用できるよう図2に示すような矯正機の改良も進めている。



図2 レール頭部補修工法用の矯正機

(4) S型弾性まくらぎ直結軌道

S型弾性まくらぎ直結軌道は、従来のD型弾性まくらぎ直結軌道の構造を見直し、横方向の耐力をまくらぎ側面に設置したせん断キーで受け持たせることにより道床肩のコンクリートを省略した構造である。短繊維補強コンクリートを採用することにより鉄筋の配置を不要とし、施工時間の大幅な短縮を実現している。線ばね形のレール締結装置を用いた構造も開発しており、適用範囲の拡大を図っている。

(5) 低廉な道床バラストの機能回復工法

道床バラストの経年劣化メカニズムは近年研究が進んできたものの一つであり、細粒分の含有率が沈下特性に及ぼす影響について様々な知見が得られている。生分解性ポリマーによる細粒土混入バラストの安定化処理工法は経年劣化したバラストの低コストな機能回復を図るものであり、実用展開している。噴泥に至らない程度の劣化状態に対しては造粒化工法を開発しており、さらに低廉化に向けた改良を進めている。

また、道床肩のバラストをセメント安定化処理し横抵抗力を確保する地域鉄道向けのロングレール軌道構造を開発した（図3）。



図3 低コストロングレール軌道構造の施工例

(6) シミュレーション技術の向上

車両走行シミュレーション技術の開発も進めている。動的陽解法を用いた車両走行シミュレーションツールの開発により、分岐器走行やレール破断を想定した開口部通過時の走行シミュレーションが可能となっており、種々の設計・評価業務に活用されている。また、MBD（マルチボディダイナミクス）を用いた車両走行解析も各種技術評価や研究で用いている。

3. 最近の技術開発

本特集号では、軌道検測の精度向上、波状摩耗などのレールやまくらぎの軌道部材の保守管理に関する内容、軌道構造の省力化に関する研究開発を取り上げているが、そのほかの最近の研究内容を紹介する。

3.1 施設の統合管理システム構築に向けた取り組み

現在、系統別にデータが取得され、また系統内でも異なるデータは個別に管理されていることが多い。それらのデータを一元的に集約していくことは、今後の鉄道施設の保守管理において大きな役割を果たしていくものである。鉄道総研では、軌道変位データの分析ツールから軌道保守データベースとして発展してきたLABOCSをベースとし、分野間での統合的な管理システムを目指した取り組みを進めている。

そのためには、統一的な位置情報の管理が重要である。分野によって主となる位置情報の取扱い方は異なるが、キロ程と対応づけることにより、LABOCS上でデータを管理することが可能となる。また、各種検査ツールによって得られたデータの緯度・経度情報をキロ程に変換して取得することができる。チャートの描画例を図4に

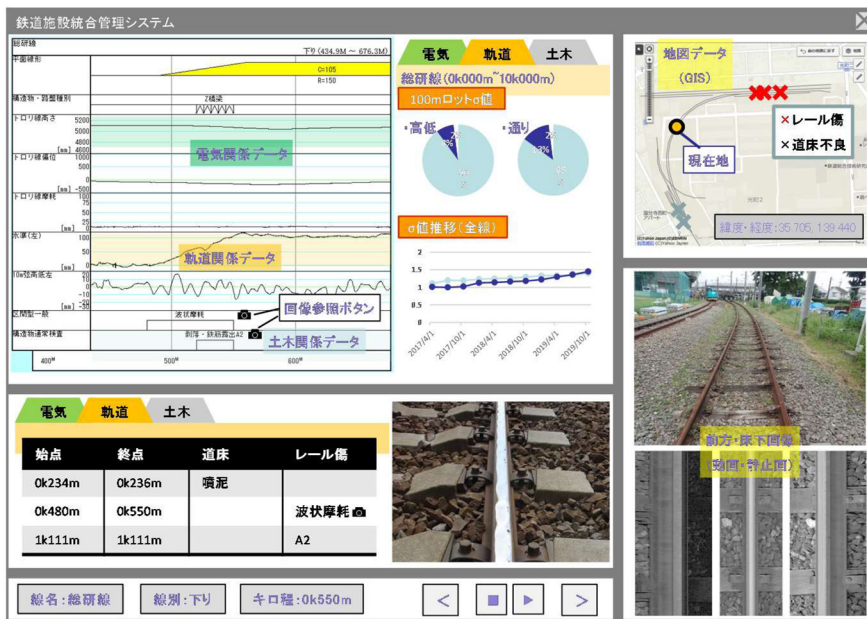


図4 鉄道の施設統合管理システムのイメージ画面

枠を設定することで、支障物の検知を行うことができる(図5)。

また、撮影時期が異なる2つの映像の対応関係を見出して差分を捉えることができる。そのため、変化箇所の抽出が可能となる。

このような技術の適用により、列車巡視において目視で確認していた限界支障等を把握でき、巡視作業を省力化することが可能となる。

今後、精度向上を図るとともに、三次元計測で得られたデータの活用法をさらに検討していく予定である。

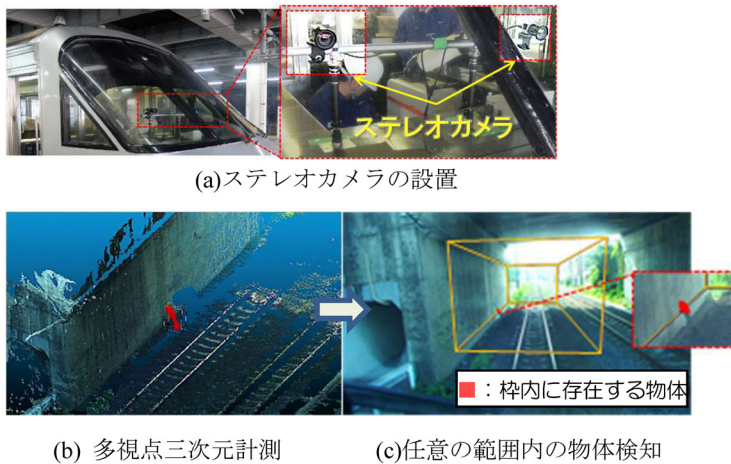


図5 線路巡視支援システムの解析例

示す。例えば、画像を指定された位置に合わせて示すことにより、不良判定箇所の軌道状態の確認が容易にでき、補修計画の策定に活用できる。その他、種々のデータを包括的に分析することが可能となる。

3.2 画像解析技術を活用した線路巡視支援システム

巡視支援システムは2台のステレオカメラを用いて列車の前端で画像を取得し、①カメラの姿勢・位置を推定する自己位置推定技術、②多視点三次元計測技術、③差分検知技術を応用することにより建築限界支障物や線路沿線環境等を把握する技術を組み合わせて構成している。

自己位置推定技術は、特徴点を抽出してカメラの姿勢・位置情報を算出するもので、GNSSの受信レベルが低下する区間において走行経路を推定でき、また、三次元計測の精度向上にも寄与する。多視点三次元空間に任意の

3.3 浮きまくらぎの検出手法

バラスト軌道の浮きまくらぎは、乗り心地の悪化のみならず、さまざまな問題につながる可能性がある。浮きまくらぎの検出としてはこれまでに5m弦による軌道変位やRFWD(軌道支持剛性測定装置)を用いた手法を提案してきたが、さらに復元原波形から定量的に求める手法を開発した。

LABOCSでは軌道変位の検出データから復元原波形を算出できる。動的な軌道変位は列車荷重がある場合の軌道の変形状態をトレースしているため、この復元波形に対して自重解析を行うと静的な軌道変位の推定形状を得ることができる。これと動変位の差分をとったものがまくらぎの浮き量となる(図6)。

本手法は営業線のデータによる検証を行い妥当性を確認している。浮きまくらぎの大きさや範囲を定量的に把握できるのが大きな特徴である。そのため、軌道の冗長性の検討、バラスト軌道の沈下予測の精度向上や、高温時の座屈危険箇所の抽出などの弱点箇所の抽出に活用が可能である。本手法はLABOCSに実装する予定であり、容易に浮きまくらぎの分布を把握することができる。今後、得られたデータの活用について研究開発を進める。

4. RESEARCH2025の研究開発

RESEARCH 2025では、冒頭に述べたことを背景とし、下記の基本方針に沿って研究開発を進めることとしている。

- (1) 安全性の向上、特に自然災害に対する強靱化
- (2) デジタル技術による鉄道システムの革新

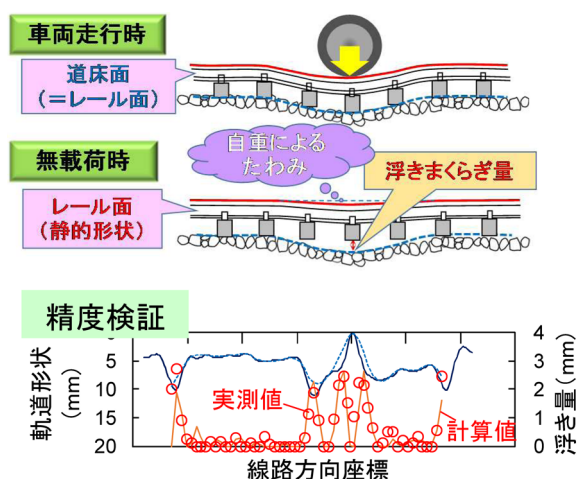


図6 浮きまくらぎの検出法

- (3) 総合力を発揮した高い品質の成果の創出
- (4) 鉄道技術の国際的プレゼンスの向上

軌道技術の分野においても、車上計測データの活用やセンシング技術の開発、予測手法の深度化に重点をおき、基礎研究から実用研究まで幅広く研究開発を行う。

4.1 デジタル技術を活用したメンテナンス手法

軌道・構造物の設備については、事故等が発生し、運休や大規模な取替業務が発生する前に、事前に異常箇所の検知、補修・補強を行うことで維持管理業務を効率化することを目的として、図7のように車上計測による検査データから、路盤陥没のような異常検知や状態変化の予測を行う技術を開発する。

本手法については、構造物情報との連携を図り、シミュレーションや車上測定データを活用して構造物の変状を捉える手法についても検討していく予定である。

また、分岐器は調整や検査に多くの労力を割いている構造部材である。一般的にトングレールは左右方向を1～2本の転てつ棒と後端部で支持するため、最適な線形を保持するための検査や調整に多大な労力を要している。そこで、図8に示すようなまくらぎ内蔵型転換装置の開発を進めており、これを用いた分岐器構造を開発する。制御とモニタリングを両立した転換装置をポイント内に複数設置し、多点同期制御による分岐器のインテリジェント化によりCBMを実現し、保守の省力化を図る。

4.2 基礎研究

レールのき裂進展速度や道床バラスト劣化などの軌道部材・構造物の劣化現象について解明を進め、シミュレーションの精度向上により定量化を行う。検査については現在、車上式のレール破断検知システムの開発や動的軌間・平面性測定システム、バラストの劣化判定法の開発を進めており、実用化を図っていくとともに、さらに各

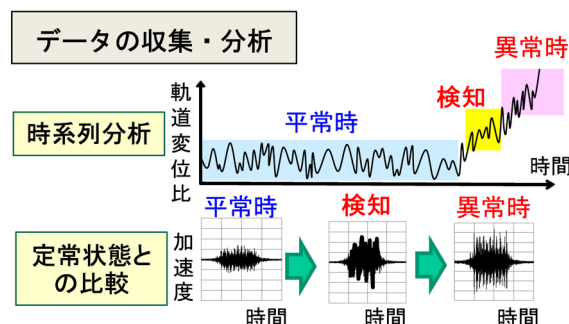


図7 車上計測による異常検知のイメージ



図8 まくらぎ内蔵型転換装置の動作試験状況

種検査の自動化に向けた取り組みを行う。上記の劣化事象の解明による予測技術の向上と併せて検査体系の再構築を進めていく予定である。

5. おわりに

以上、最近の軌道技術の研究開発状況と今後の方向性について紹介した。低コストな補修法や省力化軌道など、実用的な研究開発も実施していく。

軌道関係の国際標準化活動では、バラストレス軌道、保守用車に関する提案がなされており、これらを含む規格審議を、国際規格センターを事務局として国内のメーカー・鉄道事業者と協力して対応している。引き続き御支援を賜りたい。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 吉田尚史：キロ程の一元管理による鉄道施設統合管理システム構築に向けた取り組み，第26回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019) 講演論文集，No.S2-6-3，pp.337-340，2019
- 2) 川崎恭平他：線路巡視支援システム向け三次元計測技術の高精度化及び差分検知技術の開発，第26回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019) 講演論文集，No.S2-8-2，pp.406-409，2019
- 3) 楠田将之：浮きまくらぎ検出手法の開発，日本鉄道施設協会誌，Vol.57，No.5，2019.5