

## 線路設備モニタリング装置の更なる活用に向けた研究開発



吉田 尚\*1 山本 修平\*1 小松 佳弘\*2 兼子 弘\*1 元好 茂\*1 小西 俊之\*3

### Research and development for further utilization of track facility monitoring device

Hisashi YOSHIDA\*1, Shuhei YAMAMOTO\*1, Yoshihiro KOMATSU\*2, Hiroshi KANEKO\*1,  
Shigeru MOTOHYOSHI\*1 and Toshiyuki KONISHI\*3

\*1 Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

\*2 Warabi Track Maintenance Office, Omiya Branch Office \*3 Facilities Department, Sendai Branch Office

#### Abstract

JR East is promoting a track facility monitoring device, the purpose of which is to change the basis of maintenance from time-based (TBM) to condition-based (CBM). The device can measure track irregularity and detect failure of track materials. Installed on a commercial train, the device consists of a function that measures for irregularity in tracks and one that monitors track materials such as rail fastenings to prevent loosening and falling out, thanks to a high detection rate. The technical center continues research and development to further utilize this device to be used in CBM.

●**Keywords:** CBM, Track facility monitoring device, Track irregularity, Track materials

## 1. はじめに

JR東日本では、メンテナンスの体系を時間基準保全 (TBM) から状態基準保全 (CBM) に変えるために、線路設備モニタリング装置の導入を進めている。線路設備モニタリング装置は、線路の歪み (変位) を測定する「軌道変位測定装置」及びレール締結装置等の軌道材料を確認する「軌道材料モニタリング装置」から構成される (図1)。営業列車に搭載することで高頻度にデータ取得可能で、軌道変位の変化やレール締結装置の脱落を高い確率で検知可能な点が最大の特長である<sup>1) 2)</sup>。

本稿では、CBM業務サイクル (図2) を確立するために実施してきた線路設備モニタリング装置の更なる活用に向けた研究開発について述べる。

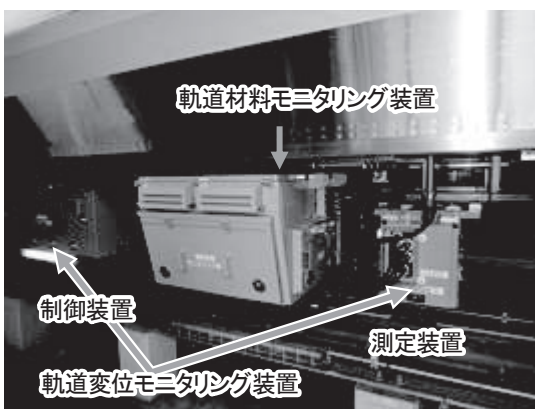


図1 線路設備モニタリング装置外観

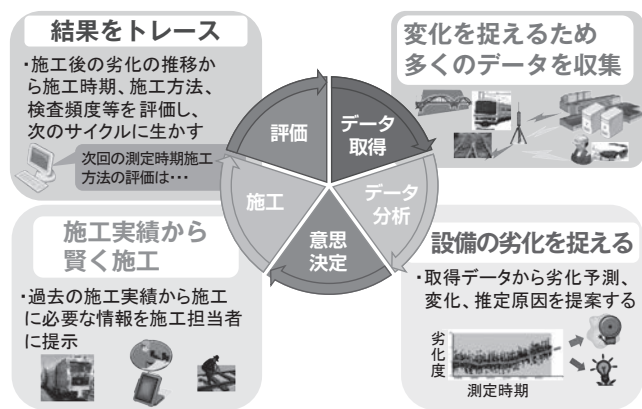


図2 CBM (Condition Based Maintenance) 業務サイクル

## 2. 線路設備モニタリング装置の改良に関する研究開発

### 2・1 線路設備モニタリング装置の現状

線路設備モニタリング装置は、2017年度末時点で首都圏の主要線区への導入をほぼ完了しており、今後は首都圏以外の線区に導入を拡大していく。導入線区の拡大に伴い、株式会社日本線路技術（以下、NSG）が2016年12月に開設した「線路設備モニタリングセンター」にデータの一次処理業務や機器の保守業務等を委託することで、運用の効率化を図っている<sup>3)</sup>。

線路設備モニタリング装置の実導入を進める中で新たな課題も発生していることから、以下に述べる開発を行った。

### 2・2 線路設備モニタリング装置の搭載範囲拡大に関する開発

線路設備モニタリング装置を東北地区のE721系に搭載するにあたり、低いプラットホームに対応した低床車両のため、図3 (a)のように既存の装置では車両のぎ装限界に支障することが判明した。装置は図3 (b)、(c)に示すようにレーザ変位計やカメラを使用した光学式の測定装置であり、測定には対象となる軌道材料との間に一定の距離や寸法間隔を確保しなければならない。このため、限られたスペースの中で機器配置や光学系の寸法関係を工夫し、見直すことで低床車両に搭載可能な仕様を実現した。本仕様に基づく装置の製作は完了しており、2018年度にE721系へ搭載する予定である。

現在は、さらに搭載条件が厳しい気動車用に、海外メーカー等と小型の軌道変位測定装置を開発している。

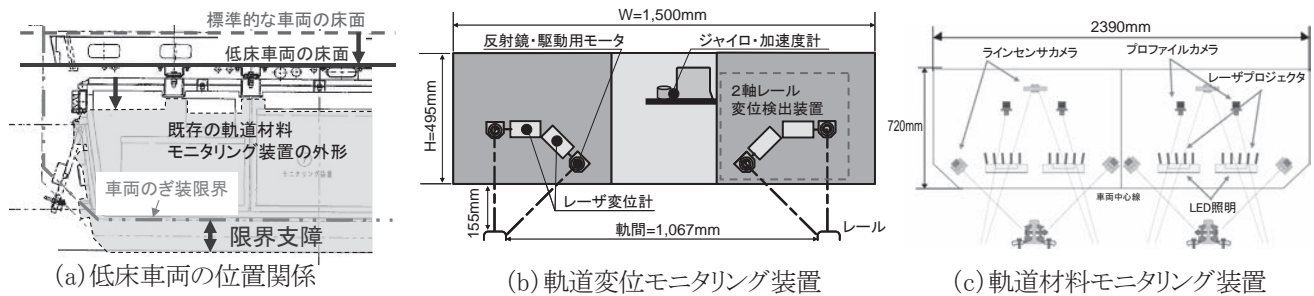
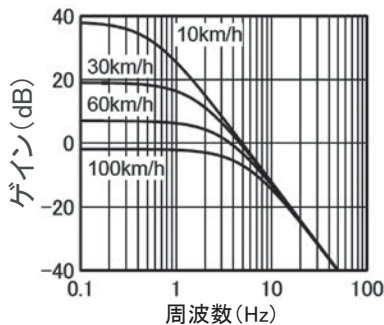


図3 線路設備モニタリング装置の主要機器の概要（現行型）

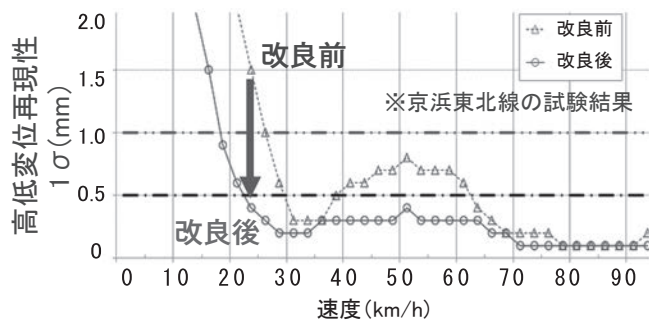
### 2・3 軌道変位モニタリング装置の改善

#### (1) 慣性正矢法の測定精度向上

軌道変位モニタリング装置は、（公財）鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）において開発された慣性正矢法による軌道変位の測定装置である<sup>4)</sup>。レールの上下・左右方向の歪みは加速度の2回積分により算出し、速度差によって演算結果に違いが生じないように図4 (a)のように速度に応じて特性を変化させている<sup>5)</sup>。このため、速度の精度が軌道変位の精度に影響する。これまで演算回路に入力する速度に相当する電圧（速度電圧）の分解能は、新幹線にも対応できるよう288km/h/10Vとしていたが、在来線の速度に合わせて速度電圧の分解能を144km/h/10Vに見直した結果、図4(b)に示すように全速度域で測定精度が改善された。



(a) 加速度の2回積分の周波数特性



(b) 演算回路改良前後の測定精度

図4 低速域の測定精度向上

(2) 異常値対策

軌道変位モニタリング装置は、2軸レーザ変位計で図5に示すような制御により、常時レールの位置を捕捉している。しかし、伸縮継目などの軌道構造上の不連続点などでレールの位置が捕捉できなくなる状態（光とび）になると、異常値が発生することが問題となっていた。そこで、鉄道総研の協力のもと、在来線と同様に問題のあったE5、E7系新幹線電車の慣性正矢軌道変位測定装置にロガーを設置して、伸縮継目部における異常値の発生原因を分析した。その結果、伸縮継目部における異常値は、図6に示すように「①光とびではなく構造上の形状変化に追従したことによるもの」と、「②構造上の不連続箇所等で光とびが発生したことによるもの」であることを確認した。対策として、①については図7のように構造上の断面変化のような細かな変化を平滑化する7次メディアンフィルタを適用することとし、②については、光とび発生後のホールド処理（光とび直前の値を正常値として保持し、レーザの照射位置を固定する処理を改善することとした。具体的には、ホールドする値が光とび直前の断面変化の影響を受けていたため、ホールドする値を1ms前から30ms前に変更（図8）し、さらにホールドを解除する際の2軸レーザ変位計の制御方法を変更した。対策の結果、伸縮継目における光とびによる異常値の発生は9割以上減少した。

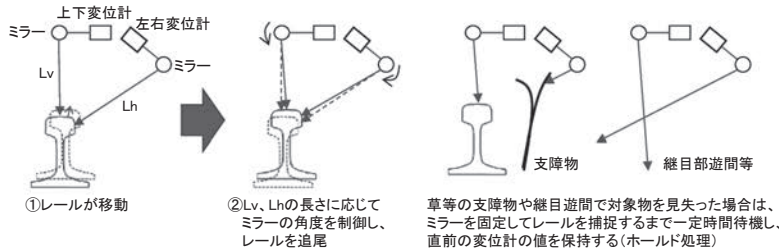


図5 2軸レーザ変位計の制御

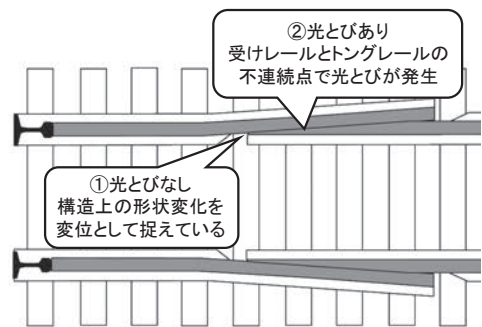


図6 伸縮継目における異常値の発生箇所

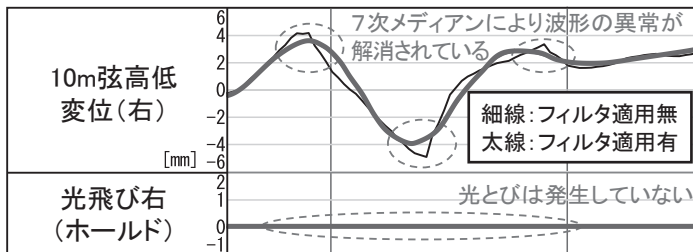


図7 構造上の形状変化箇所に対する対策

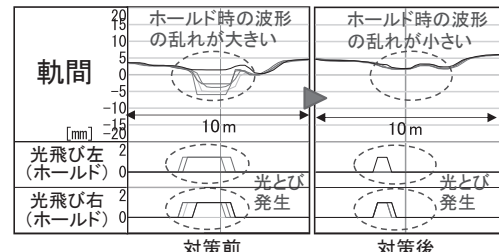


図8 光とび発生箇所に対する対策

2・4 軌道材料モニタリング装置の改良

軌道材料モニタリング装置はカメラにより軌道材料を撮影し、異常の判定や確認作業に活用する。そのため、画像を鮮明に映すことが極めて重要である。軌道材料モニタリング装置は装置の冷却に外気を使用しており、吸排気口にはフィルタを設置しているものの、塵埃が流入して装置内部に汚れが発生し、撮影画像の品質低下の原因となっていた。そこで、装置内部の汚れ防止のために装置の密封化の開発に取り組むこととした。その結果、装置内部の熱流動の改善や、天板の材質変更、除湿シートによる結露対策を行うことで、装置の密封化が可能であることを確認した。今後製作する装置は、密封化した装置が導入される計画となっている。

2・5 新幹線線路設備モニタリング装置の開発

線路設備モニタリングによるCBMの更なる推進のため、新幹線の線路設備モニタリング装置の開発に着手したところである。新幹線については、営業車と保守用車に搭載する方向で検討を進めており、分岐器も含めたより広範囲の線路設備を対象とする計画である。

## 3. 意思決定支援システムの開発

### 3・1 CBM支援システム

CBM支援システムは、線路設備モニタリング装置より高頻度で取得できるモニタリングデータを活用して、現場技術者が日々行っている保守管理を支援するためのシステムの総称である。本システムはCBMクラウド上に構築しており(図9)、現行の設備管理システム(TRAMS)とデータが自動連携されるため、モニタリングデータ単体のみだけでなく、現行の設備台帳等の情報も考慮した上で横断的な分析を行うことによって、保守管理を支援することが可能である。モニタリングデータについても、NSGのモニタリングセンターで前処理したデータを使用することで、光とび等の異常値が少なく、波形間でのキロ程上の位置合わせが済んだデータを活用することができる。以下にこれまでに開発・検討を進めてきた機能について紹介する。



図9 CBM支援システム

### 3・2 軌道変位データに基づいた意思決定支援

#### 3・2・1 軌道変位急進性把握

本機能は高頻度で取得された軌道変位データを用いて、軌道変位の進みが大きな箇所を抽出し、その上で過去の推移から目標値や基準値に到達する日を統計的に予測することで(図10)、現場技術者の保守管理を支援する機能である<sup>6)</sup>。具体的には1mごとに検測日の検測データと概ね1週間程度前の検測データの検測値の差分を取り、この値が閾値以上であった場合に急進箇所として判定する。また、軌道変位の将来予測においては、ベイズ推定を用いた予測手法<sup>7)</sup>を活用することで、急激な変化にも追従した予測結果を得ることができる(図11)。従来はチャートの重ね合わせによって急進箇所を確認していたが、業務効率の向上に寄与することが期待される。



図10 急進性把握機能

#### 3・2・2 MTT計画/施工後評価/MTT作業情報

##### (1) MTT計画/施工後評価

本機能は線路補修用の大型機械であるMTTの作業に関わる業務効率化を目的として開発を進めている。まずMTT計画機能については、モニタリングデータを用いることで高精度な予測が可能となったことで、従来の計画システムよりも、最適な時期に保守を行うことが可能となる(図12)。また、従来導入していた計画システムのGUIを刷新し、ユーザーの操作性を向上させた。また、施工前後の軌道変位データから箇所別・線区別・作業別に軌道変位の標準偏差の改善度合いを確認できるようにすることで、施工結果の振り返りを容易に行えるようにした(図13)。

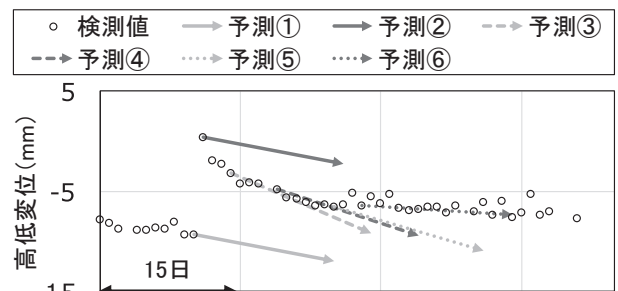


図11 急進性把握機能

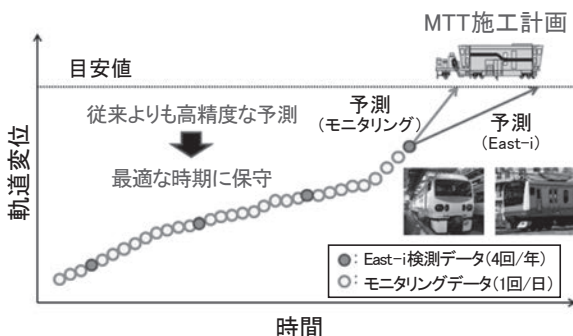


図12 MTT計画支援機能

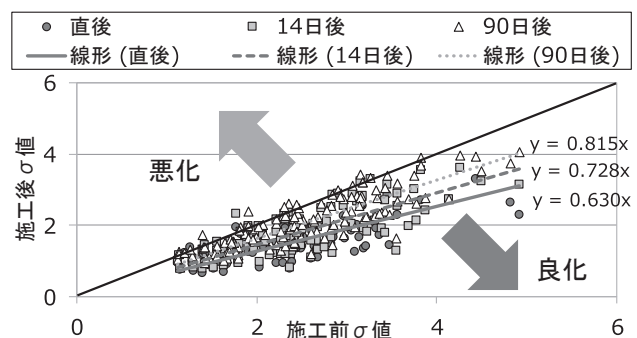


図13 施工後評価(箇所別)

(2) MTT作業情報の活用

上述の施工評価においては、施工した結果の評価でありその施工内容までは評価されていない。現在、MTTのタンピング作業における機械制御のデータをデータロガーで作業情報として収集し活用検討を進めており、これまでに2台のMTTからデータを収集している。およそ1年間分のデータを集計したところ、2台ともおおむね標準的な施工（各パラメータの標準的な推奨値）が軌道状態の改善効果が高まっている傾向を確認できた。しかし、箇所ごとに施工時の軌道状態によって最適な制御は異なることが考えられるため、今後より詳細な分析を行い軌道状態に応じた最適な施工方法を提案できるようにしたい（図14）。

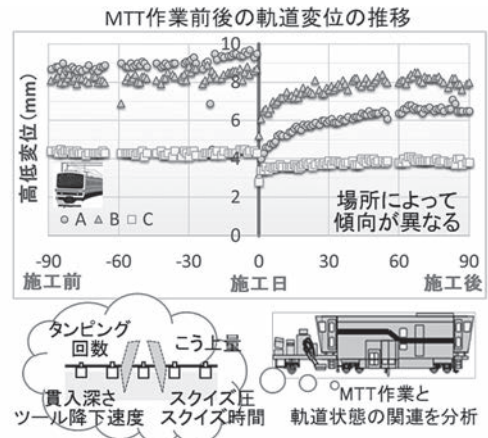


図14 MTT作業情報の活用

3・2・3 最適保守計画策定

これまでに紹介した機能については、短期的な視点での保守管理に活用できるものの、より長期的な視点や、軌道の材料状態を考慮した保守管理に活用するのは難しい。そこで、本機能ではモニタリングデータと保守実績から道床状態を推定し、中期的な視点で軌道状態を最適にする保守計画を作成する（図15）。加えて、軌道状態を網羅的に確認する機能（軌道状態推移表示）も開発しており、線路設備モニタリング装置を導入済みの支社・保線技術センターにて試行導入中である（図16）。

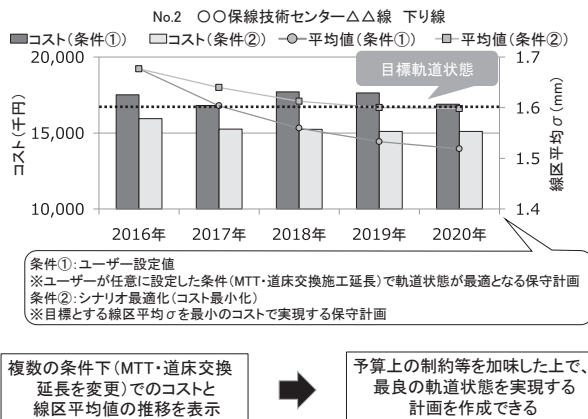


図15 保守計画作成



図16 軌道状態推移表示図

3・3 軌道材料データに基づいた意思決定支援

軌道材料モニタリング装置では膨大な枚数の軌道材料のグレースケール画像を取得している。そのため、画像の確認に多くの労力を要する。そこで取得した画像から軌道材料の異常を検出する手法の開発を行っている。

軌道材料の不良のひとつとして、まずはレール表面の傷の検知に取り組んでいる。傷の種類ごとに機械学習に基づく判定ロジックを構築し、不良位置を特定するシステムを試作した。機械学習に基づくことでデータの蓄積による精度の向上や、地域ごとの傷の違いや判断基準の反映が可能となる。

この中で、レール表面傷の一種であるシェリングについては、様々な判別指標（特徴量）を試したが十分な判定精度を得ることができず、再学習による性能の向上も十分に得られなかった。そこで画像認識の分野で近年高い成果が報告されているディープラーニングによる転移学習<sup>8)</sup>を試みた（図17）。これは答え付きの一般画像で学習したモデルをシェリングの判定に転用する手法であり、不良画像のサンプル数が比較的少なく済むというメリットがある。その結果、判定性能を向上させることができた。

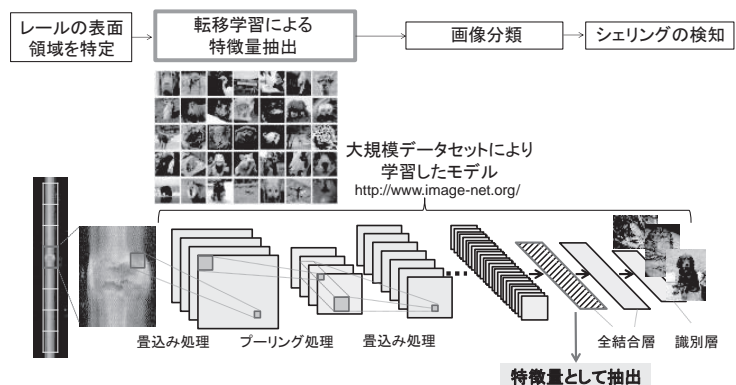


図17 シェリング検知方法の概略図

同様のアプローチにより、レール継目板の折損(き裂)検知にも取り組んでいる。なおレール継目板の折損はほとんど発生しないため、営業線に折損した継目板を試験敷設し撮影した画像を用いて検討を行った(図18)。現在の見逃し率(折損した継目板を「正常」と判定する割合)は約2割、誤検知率(健全な継目板を「折損」と判定する割合)は約3割となっている。レール傷、継目板の折損検知のさらなる精度向上、判定項目の拡大に向けて、引き続き異常検知方法の開発に取り組んでいきたい。

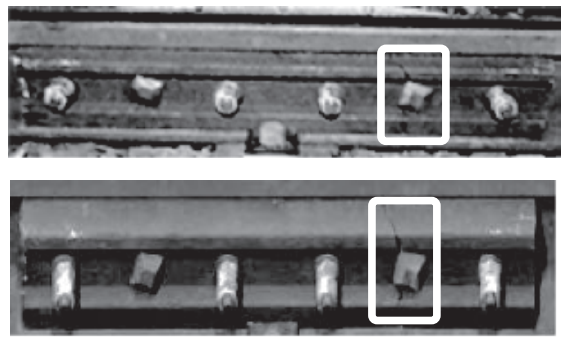


図18 営業線に試験敷設した継目板(上)と取得した濃淡画像(下)

### 3・4 今後の展望

CBM支援システムは現場社員の要望を反映させてアップグレードを行っていく(図19)。今後は画像解析による業務効率化や、モニタリングデータを用いた軌道状態の推定等、線路設備モニタリング装置やその他デバイスから得られるさまざまなデータを有効活用し、軌道関係のCBMを推進するためのシステム開発を継続して取り組むとともに、現場技術者の意見や要望も反映して、より実用的でスマートなシステムを目指して開発を進める。

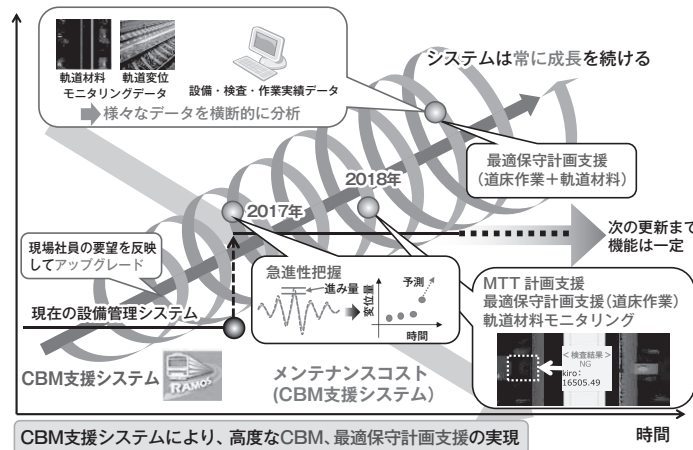


図19 CBM支援システム開発イメージ

## 4. おわりに

線路設備モニタリング装置の導入を進めているが、導入拡大及び実務への適用に伴っては、新たな課題も発生している。線路設備モニタリング装置を通じたCBMの実現のため、これらの課題を克服すべく、今後も装置の改良や活用環境の構築に関する研究開発を継続していく。

### 参考文献

- 1) 葛西亮平、矢作秀之、小野寺孝行、営業列車搭載型線路設備モニタリング装置の開発状況と今後の展望、JR EAST Technical Review (in Japanese)、No.48、pp.13~16、Summer 2014
- 2) 葛西亮平、西藤安隆、小松佳弘、小木曾清高、矢作秀之、小西俊之、線路設備モニタリング装置の概況と今後の方向性、JR EAST Technical Review (in Japanese)、No.55、pp.21~24、Summer 2016
- 3) 糟谷賢一、渡邊寛隆、佐藤惇一、田中博文、高場基司、軌道変位モニタリングデータの高頻度データ解析手法に関する検討、土木学会第72回年次学術講演会、4-366、2017
- 4) 三和雅史、矢澤英治、佐野弘典、山口剛志、高頻度の検測で軌道の状態変化を診る、RRR、Vol.73、No2、pp.12~15、2016.2
- 5) 矢澤英治、吉田昌史、坪川洋友、岡井忠生、慣性正軌道検測装置用高精度演算ユニットの開発、土木学会第59回年次学術講演会、4-043、2004
- 6) 西藤安隆、元好茂、小西俊之、大庭啓輔、モニタリングデータを活用した軌道変位急進性把握システムの開発、第21回鉄道工学シンポジウム、No.4、pp.25-28、2017
- 7) 山本修平、三和雅史、田中博文、嘉嶋崇志、高頻度検測データの特性を考慮した軌道変位予測モデルの構築、第21回鉄道工学シンポジウム、No.2、pp.9-16、2017
- 8) 神寫敏弘編(人工知能学会監修)、深層学習、近代科学社、p.176-177、初版、2015