

# 軌道の維持管理における 業務効率化を実現する研究開発



桃谷 尚嗣  
Yoshitsugu Momoya  
軌道技術研究部長

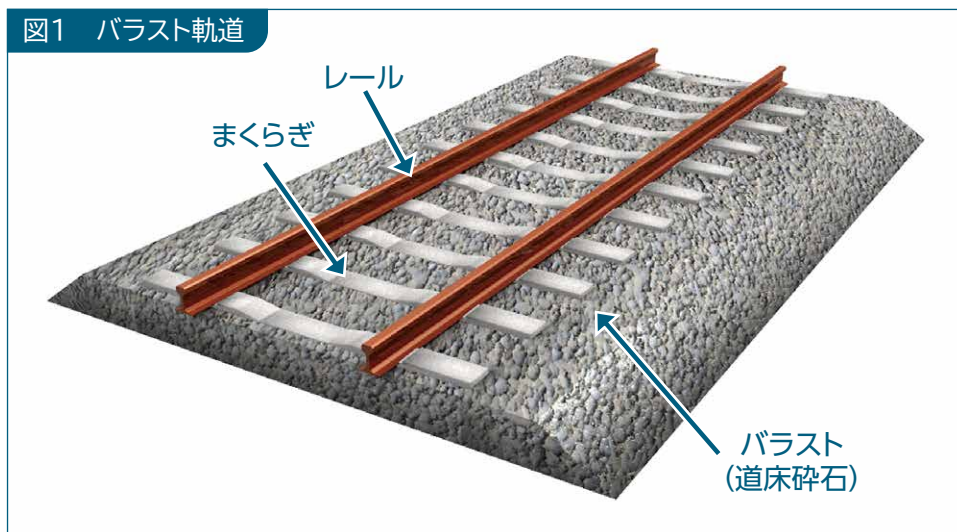
## はじめに

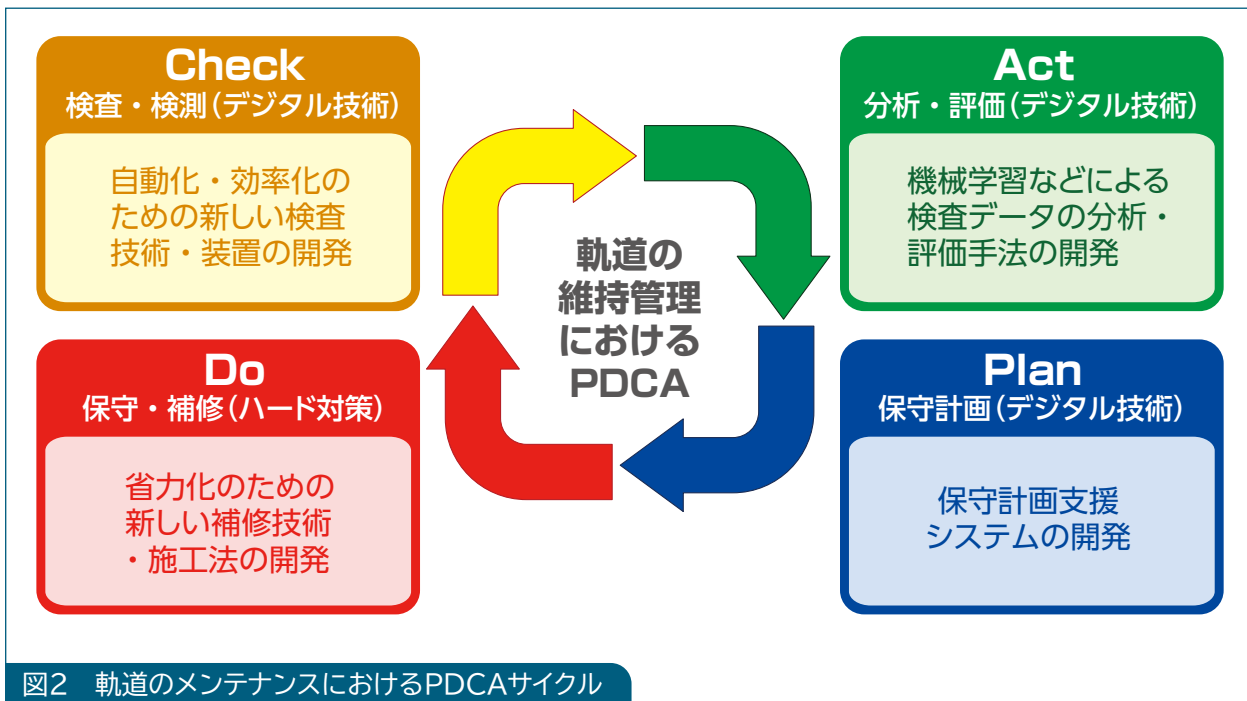
鉄道において最も一般的なバラスト軌道(図1)では、列車の繰返し荷重により徐々にバラスト(道床碎石)層の変形が進み、軌道変位と呼ばれるレール面の不整が生じて乗心地や走行安全性が低下します。そのため定期的に軌道の状態を検査し、つき固め作業を実施して軌道変位を小さくする必要があります。また、バラスト自体も経年によって破碎・細粒化が進んで強度が低下することから、バラストの劣化が進んだ場合は新しいバラストに交換しなければなりません。レール、レール締結装置、まくらぎなどの部材も定期的な検査を行い、補修や交換

を行う必要があります。このように鉄道の軌道はつねに定期的な検査を実施して補修することが基本であり、これによって高い安全性が確保されています。しかしながら、定期的な検査は多くの人手を必要とすることから、将来的な少子化や高齢化に対応するため、検査の省力化・省人化のための技術開発が求められています。

最近では営業車に搭載された高頻度での軌道検測が可能な装置を用いて軌道の検査を行い、必要に応じて補修を行うCBM(Condition Based Maintenance)とよばれる手法が広がっています。このようにデジタル技術を活用した維持管理を行うことで、高い安全性を確保

図1 バラスト軌道





しつつ、省力化・省人化が図れると考えられます。一方、軌道のメンテナンスの省力化・省人化のためには検査だけでなく、ハード対策としての補修技術の革新も非常に重要となります。これらの研究開発においては、従来の経験工学的な方法ではなく、科学的根拠に基づいて進めることが必要です。ここでは、軌道の維持管理における業務の効率化を実現するため、検査および補修の低コスト化・省力化に向けた鉄道総研の最近の取り組みを紹介します。

## 軌道のメンテナンスにおけるPDCAサイクル

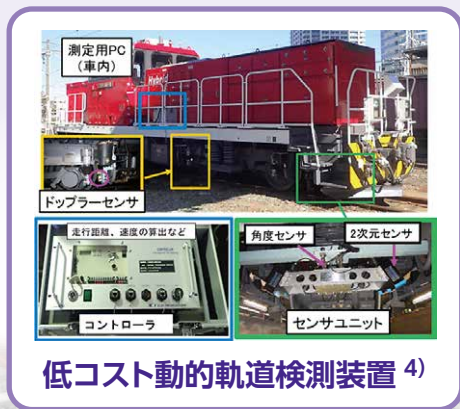
### PDCAサイクルの概要

品質管理や業務管理における継続的な改善方法としてPDCA (Plan, Do, Check, Act) サイクルがあります。これを軌道のメンテナンスに当てはめると検査・検測が“Check”に該当し、ここからPDCAサイクルをスタートさせると理解しやすくなります。軌道におけるPDCAサイクルのイメージを図2に示します。Check (検査・検測)、Act (分析・評価)、Plan (保守計画) はデジタル技術であり、Do (保守・補修) はハード対策となります。

### 軌道部材の検査・軌道検測 (Check)

“Check”では軌道部材の検査や軌道検測を実施します。軌道部材の検査・軌道検測に関する研究開発の事例を図3に示します。軌道部材の検査におけるデジタル技術の活用では、列車前頭に設置したビデオカメラの画像から木まくりの状態やレール締結装置の脱落を検査する手法について開発を進めています<sup>1)</sup>。また、列車前頭に設置したステレオカメラにより画像データを取得し、3次元情報を用いて建築限界支障物や沿線環境の変化などを検査する線路周辺画像解析エンジン<sup>2)</sup>を開発するとともに、点群データからVR空間を構成し、そのVR空間の中で検査や工事・作業計画策定のための調査を行うことができるシステムの開発を進めています<sup>3)</sup>。

軌道検測に関しては、脱線の直接の原因となる軌間拡大や平面性変位を低コストで動的に検測(列車荷重が作用している状態で検測)ができる動的軌間・平面性測定装置を開発しました<sup>4)</sup>。この装置は保守用車や営業車に搭載可能であり、機能を絞るとともにコスト低減を図ったセンサーを用いることで、従来の軌道検測車



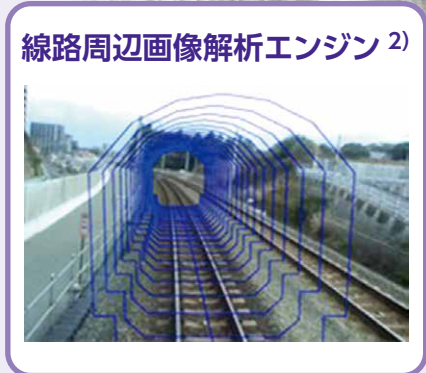
低コスト動的軌道検測装置 4)



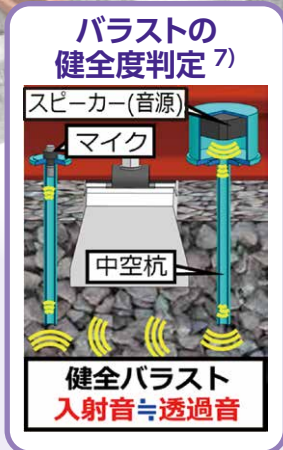
木まくらぎ劣化度判定 1)



軌道支持剛性測定 5)



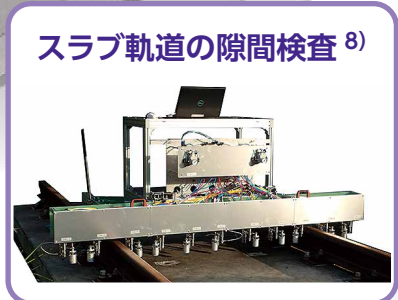
線路周辺画像解析エンジン 2)



バラストの健全度判定 7)



レール波状摩耗測定 6)



スラブ軌道の隙間検査 8)

図3 軌道部材の検査・軌道検測に関する研究開発の事例

よりも低コストで動的検測を行うことができます。また、レール上から軌道支持剛性を測定する装置<sup>5)</sup>やレール波状摩耗を測定する装置<sup>6)</sup>を開発しました。

このほかに、バラスト内を透過する音の大きさを用いて短時間でバラストの劣化状態を検査することができる装置を開発しました(図4)<sup>7)</sup>。これまでは掘削して人の目で判断する必要があったのに対し、この装置を用いることで検査結果の定量化と省力化・省人化が期待できます。また、スラブ軌道でん充層の劣化による軌道スラブーてん充層間の隙間を検出する方法として、打音検査を自動化した連続打音試験装置(図5)の開発を進めています<sup>8)</sup>。

### 検査・検測データの分析・評価 (Act)

“Act”では軌道部材検査や軌道検測で得られたデータを分析し、評価します。上述の画像による木まくらぎの検査やレール締結装置の検査では、木まくらぎの劣化状態やレール締結装置の脱落を、人による目視ではなく機械学習により自動的に判定する手法の開発を行っています。また、上述した線路周辺画像解析エンジンは評価・分析のため、ステレオカメラで取得した映像を解析して得られた3次元空間において、建築限界の内側に存在する物体の有無を判定する機能や、異なる時期に撮影した2つの映像から相違箇所を自動で検出する機能を有しています。

軌道検測データの分析・評価に関しては、相

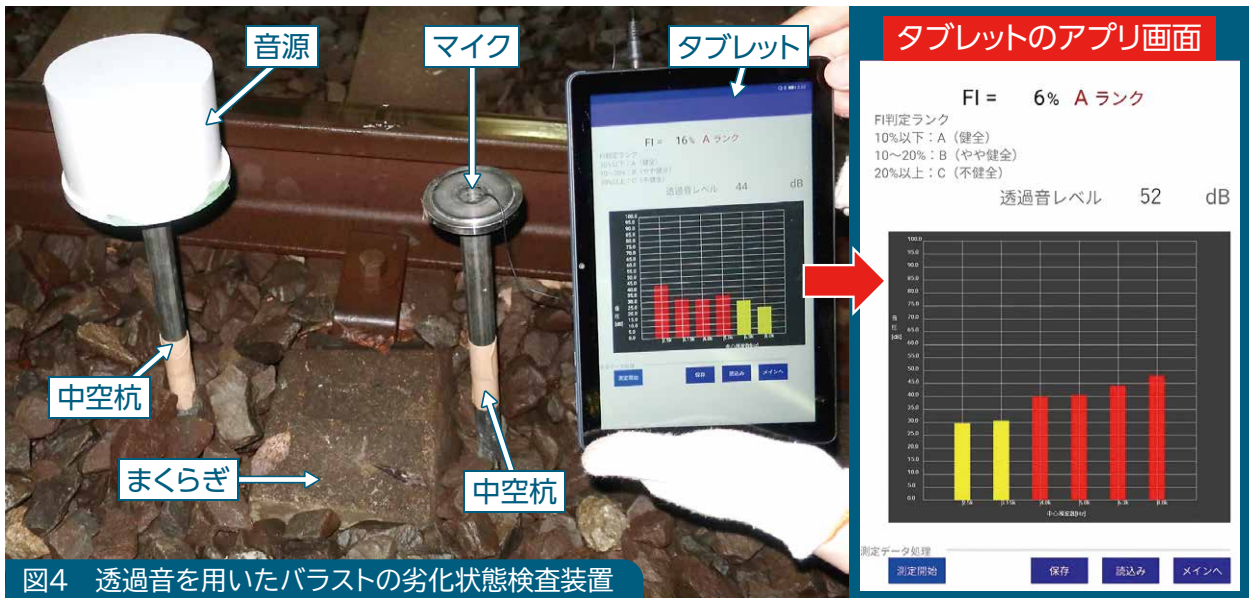


図4 透過音を用いたバラストの劣化状態検査装置

互相関法を応用して検測データのキロ程を高精度で補正するとともに、高周波検測データから軌道変位の急進箇所を特定する手法を開発しています<sup>9)</sup>。また、軌道検測データと有限要素解析を組み合わせることで浮きまくらぎの量を推定する手法も開発しました<sup>10)</sup>。これらの機能は軌道保守管理データベースシステムLABOCSに組み込まれています。

また、上述の打音検査による軌道スラブてん充層間の隙間の検出においては、機械学習により隙間の位置の判定を高精度化する手法の開発を進めています。

### 保守計画 (Plan)

“Plan”では検査・検測データの分析結果に基づいて保守計画を策定します。効率的な保守計画を策定するため、中長期的なライフサイク

図5 軌道スラブの連続打音試験装置

- ◆11基の打撃部が連続的に駆動
- ◆軌道スラブ1枚を5分で検査可能

横ばり

集音部

打撃部

打撃ユニット(11基)



バラストの低強度安定処理 14)

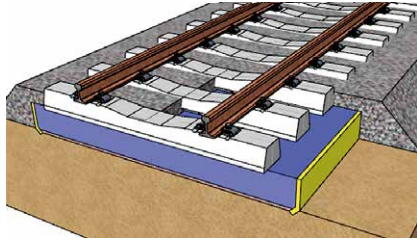


バラストを活用した路盤改良 17)

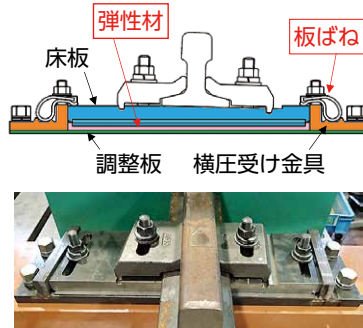


レール頭部きず補修 16)

SFC てん充填道床軌道 15)



伸縮継目の弾性支持 19)



軌道スラブ下の隙間補修 18)



図6 軌道の補修・施工技術に関する研究開発の事例

ルコストを最小化する軌道保守の計画法を提案しています<sup>11)</sup>。また、マルチプルタイタンパーとバックハウタイタンパーを組み合わせる効果的につき固め作業を行うことができる保守計画支援システム<sup>12)</sup>やレール削正によるレール凹凸の除去とマルチプルタイタンパーによるつき固め作業のタイミングを効果的に組み合わせることで軌道変位の進みを最小化する手法<sup>13)</sup>を開発しています。

### 保守・補修 (Do)

“Do”では保守計画に基づき、保守・補修を行います。図6に示すように、鉄道総研では低コスト化・省力化をめざしたさまざまな補修・施工技術の研究開発を進めています。例えばバ

ラストが劣化した場合は、新しいバラストに交換することが基本となりますが、バラストの交換はコストが高く、とくに地域鉄道では実施が難しいという現状があります。そのような箇所において軌道の沈下を抑制する方法として、高分子材料と超速硬セメントを用いた補修材でバラストの強度を回復させる低強度安定処理工法を開発しています<sup>14)</sup>。一方、バラスト軌道のつき固めを不要とする方法として、ある程度細粒化が進んだバラストにも注入できる超微粒子セメントミルクでてん充填道床化するSFCてん充填道床軌道を開発しました<sup>15)</sup>。このほかに、レール頭部の傷を補修する方法<sup>16)</sup>、バラストとグラウトにより低コストで路盤改良する方

## 路盤材置換え作業

## グラウト充填作業

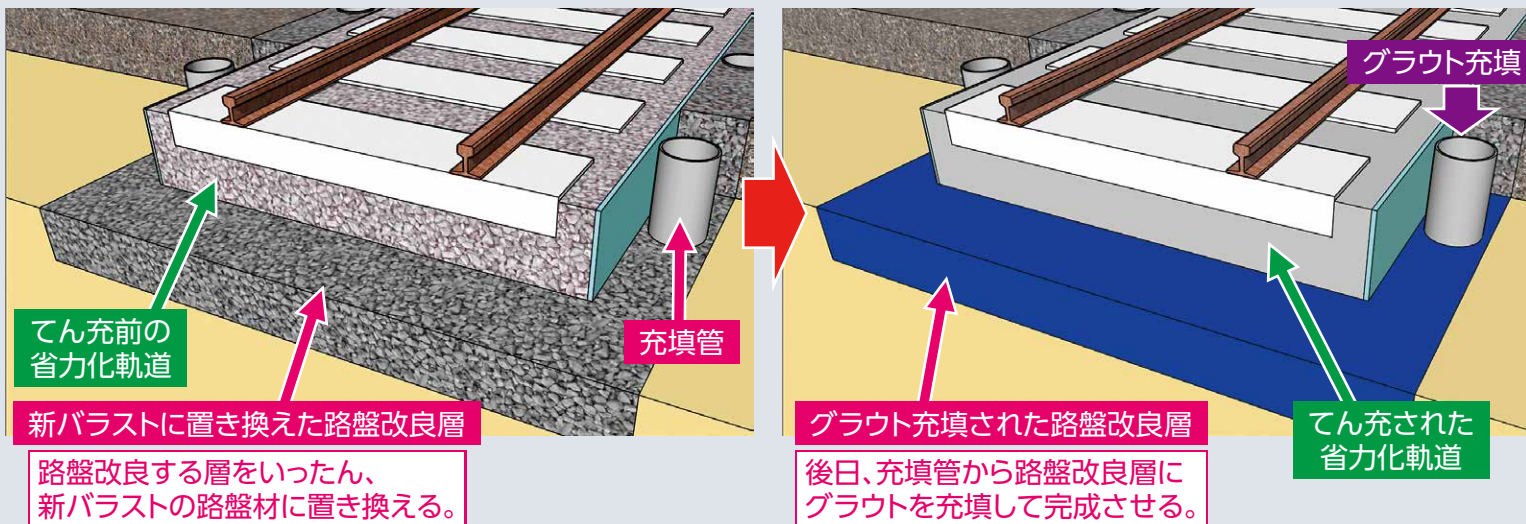


図7 バラストを活用した省力化軌道用の路盤改良工法

法(図7)<sup>17)</sup>、軌道スラブとてん充層間の隙間を樹脂よりも低コストの高流動CAミルクで補修する方法<sup>18)</sup>、伸縮継目を弾性支持する方法<sup>19)</sup>などを開発しています。

## おわりに

ここではデジタル技術の活用による検査・検測の自動化・効率化およびハード対策としての新たな保守・補修技術を紹介しました。これらの研究開発では従来のような経験工学的な考え方ではなく、科学的根拠に基づいて進めることを強く意識しています。軌道メンテナンスの省力化・省人化を実現するため、デジタル技術とハード対策を効果的に組み合わせた研究開発をさらに進めていきます。**RRR**

## 文献

- 1) 坪川洋友, 糸井謙介, 長峯望, 合田航, 前田梨帆, 加藤爽: 木まくらぎ劣化度判定システムによる劣化度判定の再現性に関する検討, 土木学会 令和4年度全国大会 第77回年次学術講演会, 2022
- 2) 昆野修平, 川崎恭平, 三島健吾, 三和雅史, 清水惇, 中島昇: 列車巡視支援のための線路周辺画像解析エンジンの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.3, pp.5-10, 2022
- 3) 三島健吾, 川崎恭平, 昆野修平, 齊藤大樹, 三和雅史: 軌道の維持管理の省力化のための列車前頭画像による軌道状態管理法, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第25号, 2021
- 4) 坪川洋友, 石川智行, 塩野幸策: 保守用車に搭載可能な動的軌間・平面性測定装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.31, No.12, pp.47-52, 2017
- 5) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 谷川光, 吉川秀平, 木次谷一平: バラスト軌道における軌道支持剛性評価方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.31, No.12, pp.29-34, 2017
- 6) 田中博文, 清水惇: 波状摩耗管理のための可搬型レール凹凸連続測定装置の実用化, 鉄道総研報告, Vol.29, No.15, pp.35-40, 2015
- 7) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 木次谷一平, 北川敏樹, 宇田東樹: 透過音でバラスト軌道の碎石の劣化状態を検査する, RRR, Vol.78, No.8, pp.12-15, 2021
- 8) 稲葉紅子, 高橋貴蔵, 洲上翔太, 桃谷尚嗣: 打音試験でスラブ軌道てん充層の劣化状態を検査する, RRR, Vol.76, No.2, pp.16-19, 2022
- 9) 田中博文, 山本修平, 大島崇史, 森忠夫, 西藤安隆: 相互相関法を応用した高頻度軌道検測データによる急進把握手法の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, 2017
- 10) 山岡大樹, 楠田将之, 田中博文, 松本麻美, 片岡宏夫: 浮きまくらぎ検出手法の提案と維持管理への活用, 鉄道総研報告, Vol.35, No.4, pp.29-34, 2021
- 11) 須藤雅人, 松本麻美, 三和雅史: 軌道メンテナンスのライフサイクルコストを見える化する, RRR, Vol.77, No.9, pp.24-27, 2020
- 12) 鈴木惇平: MT Tと小型つき固め機械を組合わせた保守計画支援システムの開発, 第2回鉄道総研研究発表会講演要旨, 2022
- 13) 松本麻美, 三和雅史, 吉田尚史, 矢坂健太, 桶谷栄一, 原田祐樹: レール削正と軌道変位保守の同時期実施を考慮した軌道保守計画法, 鉄道総研報告, Vol.30, No.10, pp.41-46, 2016
- 14) 景山隆弘, 中村貴久: 劣化したバラストの沈下を抑制する低強度安定処理工法, 日本鉄道施設協会誌, Vol.60, No.8, 2022
- 15) 洲上翔太, 中村貴久, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: 噴泥したバラスト軌道を対象としたSFCてん充床軌道の性能評価, Vol.36, 鉄道総研報告, No.3, pp.41-46, 2022
- 16) 伊藤太初, 井筒宏樹, 相澤宏行, 山本隆一: レール頭部きず補修工法用新型熱間矯正機の開発, 鉄道総研報告, Vol.35, No.4, pp.5-10, 2021
- 17) 伊藤孝記, 桃谷尚嗣, 木次谷一平, 景山隆弘: 路盤を強化して省力化軌道の沈下を抑制する, RRR, Vol.78, No.2, pp.20-23, 2022
- 18) 三澤祥文, 洲上翔太, 高橋貴蔵, 小滝康陽: 高流動CAミルクを用いたスラブ軌道てん充層隙間補修の効果, 日本鉄道施設協会誌, Vol.59, No.4, 2021
- 19) 清水紗希, 及川祐也, 弟子丸将, 本村裕基, 佐藤慎司: まくらぎ直結軌道用伸縮継目の弾性支持構造の提案, 鉄道総研報告, Vol.34, No.4, pp.35-40, 2020