

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 鉄道の低コスト化を実現する技術



片岡 宏夫  
Hiroo Kataoka  
軌道技術研究部  
部長

【専門分野】 軌道部材、ロングレール

人口減少にともなう鉄道運輸収入の減少に備えて、鉄道設備の検査・補修コストの低減はもとより、今後導入するシステムの低コスト化が望まれています。鉄道は電車線、車両、軌道、構造物や電力設備、信号設備などの分野で構成されるシステムであり、相互の関連性を考慮しつつ、さまざまな観点から省力化に取り組んでいます。ここでは、鉄道の低コスト化を実現する技術として、最近の地上設備に関する研究開発の動向について紹介します。

## はじめに

鉄道は車両が線路上を走行するシステムであり、長大な設備を有しています。安全・安心な輸送を支えるために鉄道事業者はその維持管理に多くの労力を割いています。

一方で、地方交通線から都市鉄道、新幹線まで速度や列車本数など走行条件も種々異なっており、それに応じて要求されるメンテナンスの頻度やレベルもさまざまです。

今後の人口の減少を踏まえ、持続可能な鉄道のために、コストの一層の低減が求められています。新線や大規模改良の場合には省メンテナンスな構造をより低コストで建設することが求められます。既設構造のメンテナンスについては検査を実施し状態に応じて必要な処置を行うことが基本ですが、近年ではICTの活用による効率化や省人化が進められています。センサーや画像による検査手法を導入し、適切な予測を行うことにより安全性を確保しながら効率的なメンテナンスを行うことができます。

ここでは低コスト化を実現するため

の最近の鉄道技術について、地上設備に関する取り組みを中心に紹介します。

## システム・構造の低コスト化

鉄道は電車線、車両、軌道、構造物と電力設備、信号設備などの分野で構成されるシステムです。設備を簡素化したり、省メンテナンスな構造を採用できれば大きな低コスト化につながります。また、全体を一つの系としてとらえて合理化を図ることができれば省力化につながることができます。

### システムとしての低コスト化

軌道回路を有し、列車を一区間にしか入れない信号システムは安全性を確保する上で大きな貢献を果たしていますが、一方で信号機など種々の地上設備を有し、その維持管理も必要となります。無線式列車制御は、GPSを用いて列車の位置を検知し、軌道回路をとまなわないため信号設備を簡略化でき、近年導入が進んでいます。鉄道総研では地方線区に向けた簡易な無線式列車制御の開発を進めています。

消費エネルギー予測によるエネルギーネットワーク制御手法では、電力

設備と列車群との間に情報ネットワークを構築し、相互に情報を交換することによってリアルタイム制御を行う構成を提案しており、これにより省エネが期待されます。そのために列車運行により消費される電力を高精度に予測する列車運行電力シミュレーターの開発を進めています(図1)<sup>1)</sup>。これは、運行管理部、き電回路計算部、車両計算部、運転曲線計算部から構成される。列車の運行条件に応じて変電所に求められる負荷容量を精緻に評価することが可能となり、変電設備の仕様を定めるのに有用であり、また、省エネ技術の導入効果やダイヤ改正などによる消費電力の変化の評価などにも用いることができます。

### 構造の低コスト化

車両を支持する軌道構造に関する最近の開発成果としてS型弾性まくらぎ直結軌道があげられます(図2)<sup>2)</sup>。直結系軌道は省メンテナンスな構造として整備新幹線や都市部を中心に採用されている構造ですが、環境対策としてまくらぎ下に弾性材を挿入した弾性まくらぎ直結軌道が採用されています。

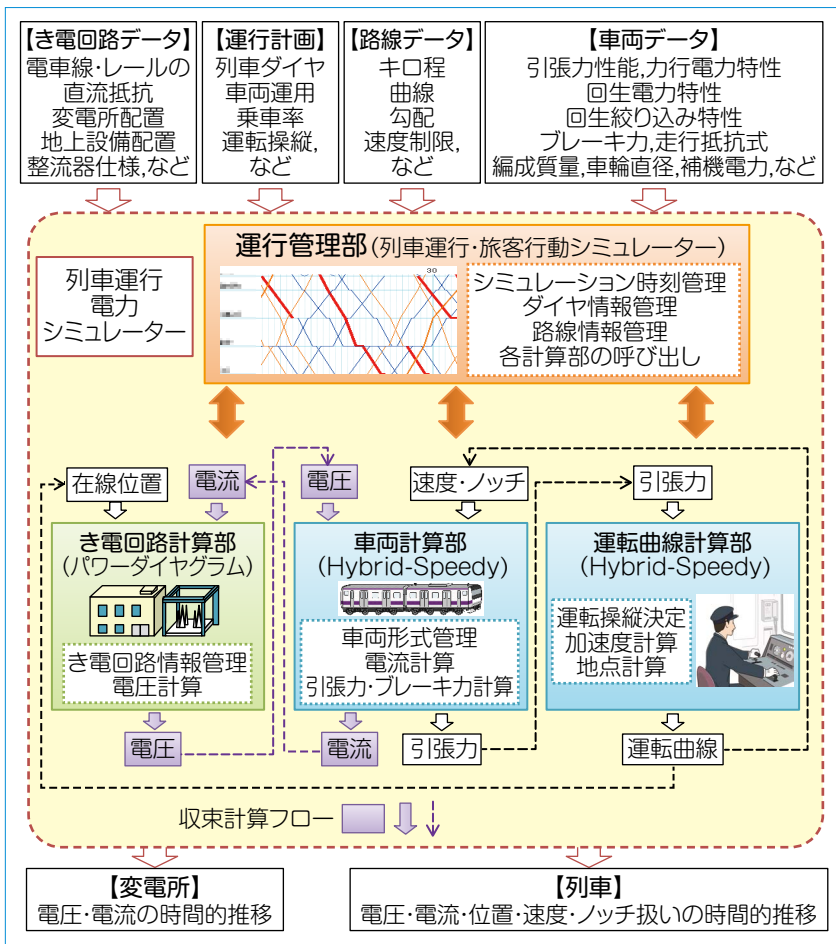


図1 列車運行電力シミュレーターの機能と構成<sup>1)</sup>



図2 S型弾性まくらぎ直結軌道<sup>2)</sup>

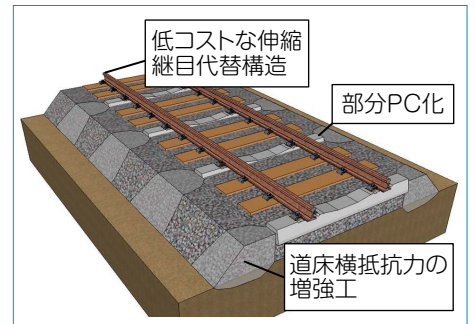


図3 低コストロングレール軌道<sup>3)</sup>

S型弾性まくらぎ直結軌道では、構造の簡素化を実現し、従来のD型弾性まくらぎ直結軌道と比較してコストを大きく低減することができました。まくらぎの形状を工夫し、せん断キー（まくらぎ側面の突起）で横圧を受けることにより、まくらぎ肩のコンクリート道床を省略することができました。また、短繊維補強コンクリートを使用し、鉄筋を省略していることも大きな特徴の一つといえます。この構造は現在営業線への敷設が進んでいます。

また、地域鉄道では継目の保守が課題ですが、これを低コストでロングレール化することにより保守を低減する構造を提案しています(図3)<sup>3)</sup>。木まくらぎを部分的にPCまくらぎに交換し、既設バラストにセメントを混合

する道床肩の増強工によりロングレール化を行うことができます。低廉な伸縮継目代替構造などの要素技術を開発し、これらの効果を試験により確認しています。

### 検査・補修の低コスト化

先に述べたように、多数の設備を抱える鉄道にとって、その維持管理は重要課題となっています。最近では状態監視保全(CBM: Condition Based Monitoring)の導入が図られています。状態監視保全では、安全・安定輸送を確保するために故障を事前に適切なタイミングで防ぐことができるのがその大きな特徴ですが、設備の状態に応じて必要な措置を行うため、設備を寿命近くまで使用することができ、ライフ

サイクルコストの低減が期待されます。しかし、そのためには状態監視のためのセンサーの設置やデータ分析が必要となります。現在、各分野でICTの活用が進められていますが、今後多数のデータを集めて一元化していくことで多くのメリットを生じることが期待されます。そのためには大量のデータを収集、集積するための通信・ネットワーク技術が基盤になります。これに関する技術開発を進めており、地上設備のデータを営業車で収集する手法の研究を紹介します。

地上設備については、全面的な取り替えが困難な構造物では設備の老朽化が進んでおり延命化が大きな課題となっています。一方、電力、軌道などの設備では取り替えが可能であり使用・時間経過にともない劣化が進行して検査で維持管理が困難と判断される場合には補修され、周期の延伸が課題となります。

### 構造物の検査・補修技術

構造物では経時変化を早期に精度よ

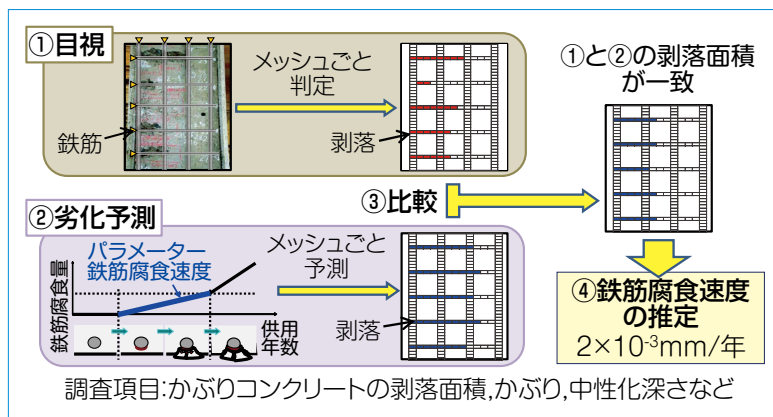


図4 コンクリート構造物の劣化予測法<sup>4)</sup>

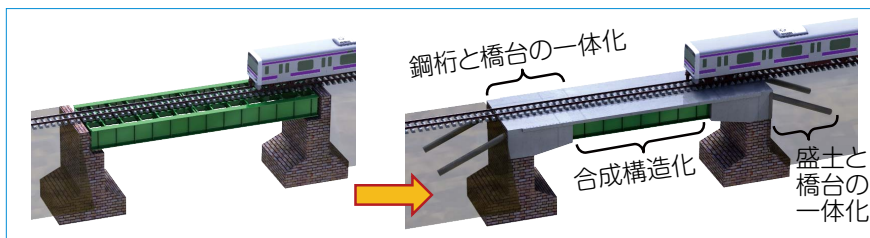


図5 鋼橋の鋼桁・橋台・盛土一体化工法<sup>5)</sup>

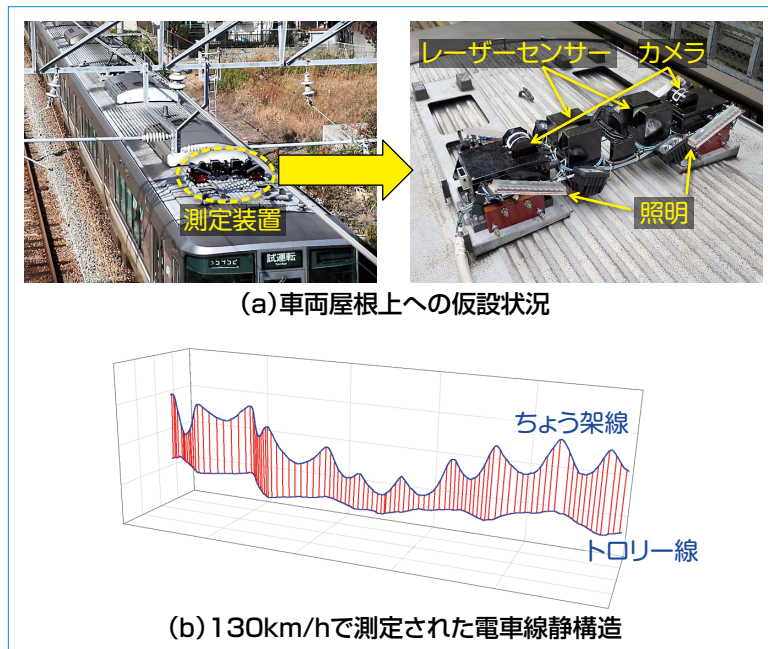


図6 電車線非接触測定装置<sup>6)</sup>

く把握することが適切な管理につながりますが、すべての構造物において状態を監視し続けるのは困難です。そこで、重要な構造物、目視が困難な構造物を対象として状態監視技術を適用することが考えられます。鉄道施設は平

均で経年が60年に達しており、検査の効率化、診断の適正化が求められています。これに関して、画像やセンサーを有効活用して目視による検査を効率化する取り組みを進めています。

鉄道橋の検査では高所作業を必要と

していますが、レーザーとドローンを用いた遠隔非接触計測技術が開発されています。レーザードップラー振動計は列車通過時の橋りょうの動的なたわみの測定や平時の常時微動から高架橋の固有振動数を測定するものとして実用化されていますが、これをさらに適用拡大を図っています。これらにより鉄道橋の安全度を全体挙動から局所変状まで評価することを目指しています。

膨大なコンクリート構造物の維持管理手法の一つとして、劣化予測によるコンクリート構造物の補修・補強費の適正化を進めています(図4)<sup>4)</sup>。現地のコンクリート構造物表面の剥落などの画像情報から劣化予測を行う手法の開発を行っており、実際に生じた変状を基に逆解析を用いて実態に即した鉄筋腐食速度を推定します。これにより、材料・施工・環境に関する詳細な調査が不要となります。

リニューアル技術として、鋼桁をコンクリートとの合成構造化する鋼桁・橋台・盛土一体化工法を開発しています(図5)<sup>5)</sup>。鋼橋では支承部の変状・鋼材の腐食による桁の耐力低下、地震時の橋台背面盛土の沈下など、種々の問題があり補強や取り替えが必要になる場合があります。本手法では、合成構造化することにより鋼桁を撤去することなく耐久性向上、支承部の保守軽減、耐震性向上を実現することができ、線路を横に移設する必要がありません。

#### 電車線・軌道の検査・補修技術

一方、電車線や線路は走行路に沿って敷設されているため、連続的な検査が必要となります。

電車線に関わる検査を目視で行うことは効率的ではなく、非接触測定装置の開発が進められています(図6)<sup>6)</sup>。本装置はレーザーセンサーとラインカメラから構成され、これを車両屋根上に搭載して営業速度で電車線画像を取



図7 造粒化工法によるバラストの機能回復

得し、画像処理技術を活用して電車線の検査を行うものです。本装置では、ちょう架線の測定が可能であり、ハンガーやコネクターなどの電車線金具の状態を診断することもできます。

軌道においては、専用の検測車を用いて定期的に軌道のゆがみである軌道変位を検測し、これを修繕するやり方が主流でした。慣性正矢検測装置は台車や車体に装荷することができ、営業車モニタリングを可能としました。これにより多くのデータが入手できるようになり、きめ細かい管理が可能となっています。各社への導入が進んでいる保守計画策定支援システムとあわせて効率的な軌道保守が進んでいくものと予想されます。

道床バラストの経年劣化は軌道の大きな課題の一つです。延長が長い場合、一律に交換していくというのは得策ではありません。営業線では局所的に劣化が進んでいる場合も多く、道床交換せずにバラストをグラウト材で固化させ、破碎して造粒化することにより機能を回復させる造粒化工法を開発しています(図7)。

また、レールに関する保守も軌道において大きなウエイトを占めています。シェリングというレール頭部の疲労損傷が生じた場合にレールを部分的に交換することがありますが、これには前後の溶接やロングレールとしての設定を行う必要があるため手間がかかります。これに対し、テルミット溶接技術を応用した頭部補修法はレール交換が

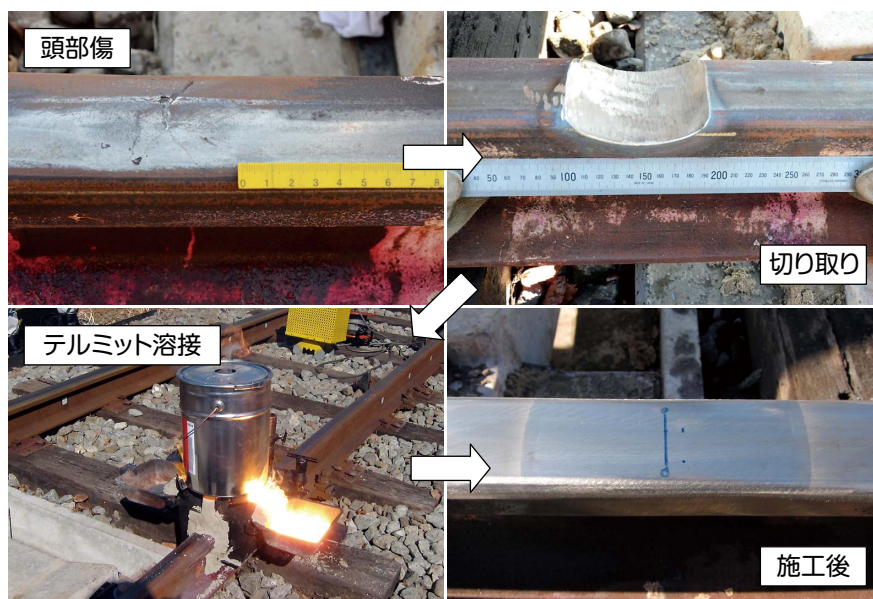


図8 レール頭部きず補修工法

不要であり、上に述べた作業を省略できるため、近年導入が進んでいます(図8)。

### おわりに

鉄道は長い歴史があり多くの経験の中で信頼性の高い仕組みを構築してきました。今後の社会状況の変化を踏まえ、安全・安定輸送を確保しつつコストの低減を図るため、今後も最新の技術を取り入れさまざまな観点から取り組んでいきます。

ここでは詳細に取り上げていませんが構造の改良とあわせ個々の機器・部材の長寿命化・信頼性向上も大切であり、これらの一つ一つ積み重ねていく必要があります。

なお、本研究の一部は、国土交通省

鉄道技術開発費補助金を受けて実施したものです。[RRR]

### 文献

- 1) 兎束哲夫：電力技術に関する最近の研究開発、鉄道総研報告、Vol.31, No.2, pp.1-4, 2017
- 2) 谷川光, 吉川秀平, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣：弾性まくらぎ直結軌道で騒音・振動を低減する, RRR, Vol.75, No.7, pp.20-23, 2018
- 3) 西宮裕騎：地域鉄道に適したロングレール軌道構造の開発, 第329回月例発表会, 2019
- 4) 神田政幸：構造物の保全技術に関する現状と研究開発の取り組み, RRR, Vol.75, No.9, pp.4-7, 2018
- 5) 小島芳之：鉄道構造物の維持管理とリニューアル技術, RRR, Vol.73, No.1, pp.4-7, 2016
- 6) 池田充：電力技術に関する最近の研究開発, 鉄道総研報告, Vol.32, No.4, pp.1-4, 2018