

- 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

鉄道の基盤技術に関する 研究開発の取り組み



上半 文昭
Fumiaki Uehan

鉄道力学研究部 部長
[専門分野] 構造力学, 維持管理工学,
計測工学, 破壊解析

鉄道の安全性, 快適性, 利便性, メンテナンス性を高めるためには, 車両, 軌道, 構造物, パンタグラフ, 電車線などの境界領域で生じる鉄道固有の複雑な現象の解明と課題の解決が不可欠です。そのために鉄道総研では, さまざまな実験・計測技術や数値シミュレーション技術の開発に取り組んできました。ここでは, 鉄道総研が保有または開発している鉄道の研究開発に有用な基盤技術を数例紹介するとともに, それらに応用した将来の鉄道システムについて展望します。

はじめに

鉄道に関する研究開発においては, 一般的に, 理論解析による基本的な方向づけ, 室内実験による実証, 現地試験による確認などによって行われており, それらに加えて数値シミュレーションによる定量的な予測が重要な役割を果たしています(図1)。ここでは, 鉄道の研究開発を支える基盤技術として, 室内実験や現地試験を支える実験・計測

技術, ならびに数値シミュレーション技術に関する筆者らの取り組みを紹介し, 将来の展望を述べたいと思います。

実験・計測技術

現象の解明や仮説の検証には室内実験や現地試験が不可欠であり, 鉄道総研では, それらを支える実験技術, 計測技術の開発に取り組んできました。ここでは, 大型試験装置を用いた実験技術と構造

物の健全度を調べるための新たな計測・評価技術の例をいくつか紹介します。

大型振動試験装置

図2に大型振動試験装置の概要を示します。この試験装置は, 震度7クラスの地震動の模倣が可能で, 構造物模型, 実軌道, 実台車の加振を行うことができる振動台で, 最大積載重量50トン, 最大変位±100cmの性能を有しています。実験例として, 図3に脱線防止ガード

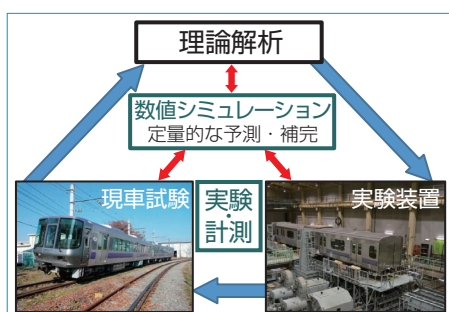


図1 鉄道の研究開発の基盤技術

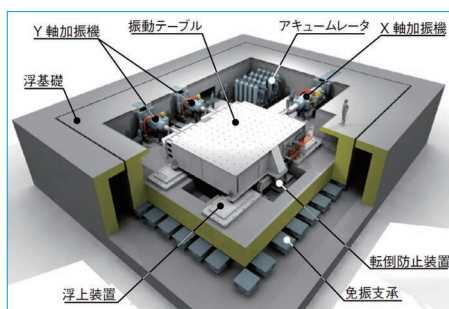
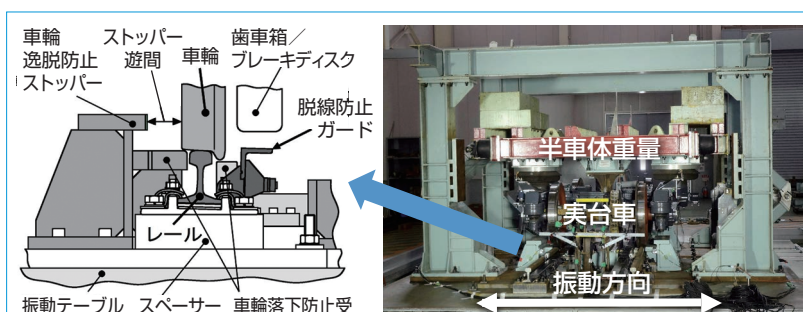
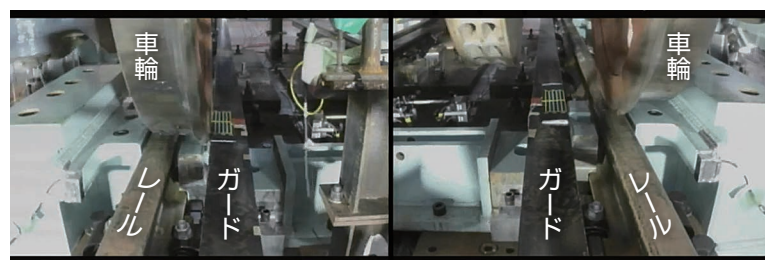


図2 大型振動試験装置



(a) 振動台実験装置



(b) 車輪の脱線防止ガードへの接触

図3 一台車・半車体モデルの振動加振実験

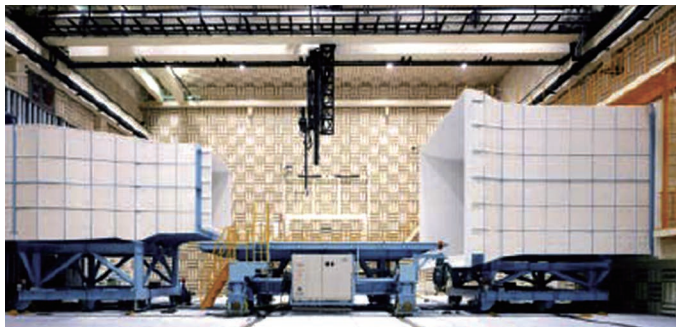


図4 大型低騒音風洞

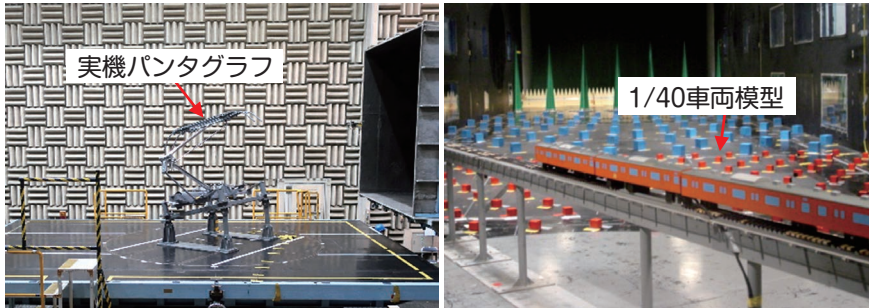
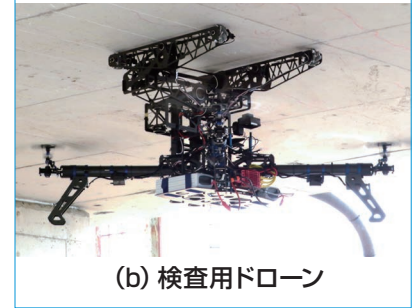


図5 風洞試験の実施例



(a) UドップラーII



(b) 検査用ドローン

図6 遠隔非接触計測システム

の効果確認を目的とした半車体モデルの加振実験を示します。振動テーブル上に、在来線を対象とした脱線防止ガード付きの軌道と鉄道車両の半車体分を実サイズ(重量約15トン)で構築して加振しました。車輪が脱線防止ガードに接触する状態を再現して、脱線防止ガードの機能を確認することができました。

大型低騒音風洞

図4に米原にある鉄道総研の大型低騒音風洞(測定部の無響室)を示します。この装置は、人工的に作った空気の流れを用いて鉄道車両などの空力騒音や空気力特性を試験するもので、最高風速400km/hの風を吹かすことができます。風洞自体が低騒音(暗騒音レベル75dB(風速300km/h時))であることが特徴です。

図5に風洞試験の実施例を示します。左図はパンタグラフ実機の試験事例、右図は車両模型の試験事例です。低騒音で安定して集電できるパンタグラフの開発や、横風による車両の転覆対策や空力・騒音特性に優れた車両開発などを目的として、数多くの試験を実施しています。

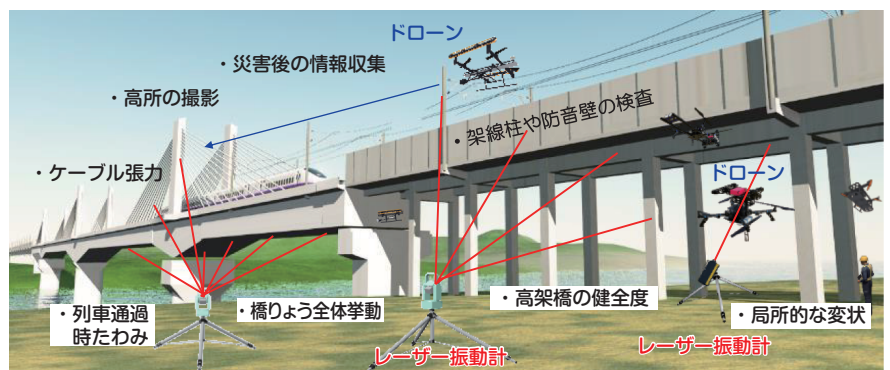


図7 遠隔非接触計測による構造物検査技術

計測・評価技術の開発

実験や現地試験を支える新しい計測・評価技術の開発にも取り組んでいます。ここでは、地上・車上から構造物を検査する技術を紹介しします。

非接触計測による構造物検査

鉄道総研では、構造物検査を目的として、レーザー振動計やドローンを用いた新しい計測技術を開発しています(図6)。レーザー振動計Uドップラー(参照)はレーザーを照射して対象の振動を測って健全性を評価します。構造物検査用ドローンは、飛行するだけでなく構造物の下面や側面に付着して走行しながら、変状の調査や打音測定などを

行います。それらを用いれば、離れた場所から安全かつ効率的に大型構造物を計測・検査することができます(図7)。

車上計測による橋の共振の検出

列車の高速化などともなって、列

Uドップラー

レーザーを運動する物体に照射すると、ドップラー効果によって反射レーザー光の周波数が物体の速度に応じて変化することを利用して、物体の振動速度を非接触測定するレーザードップラー振動計に、屋外環境で高精度な測定を行うために、風や地盤の振動によるセンサーの揺れの影響を補正する改良を行った装置。

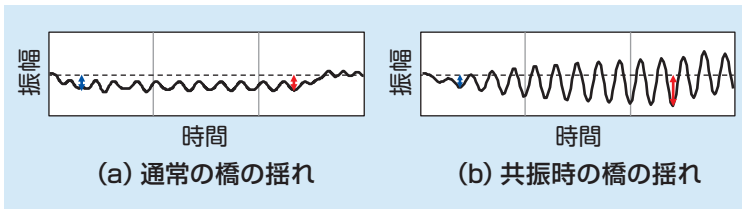


図8 列車通過時の橋の揺れ



図10 スーパーコンピューター「究2」(CrayXC50)

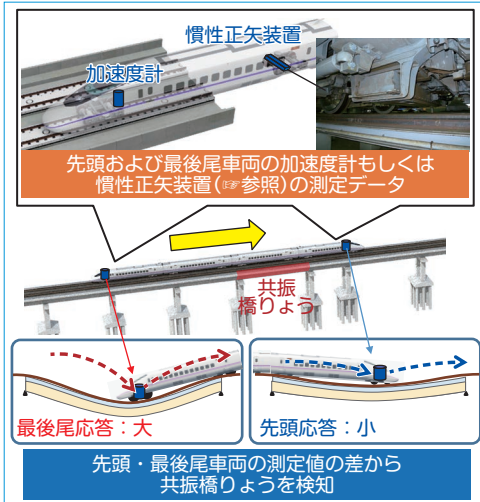


図9 車上計測による共振橋りょうの検知手法

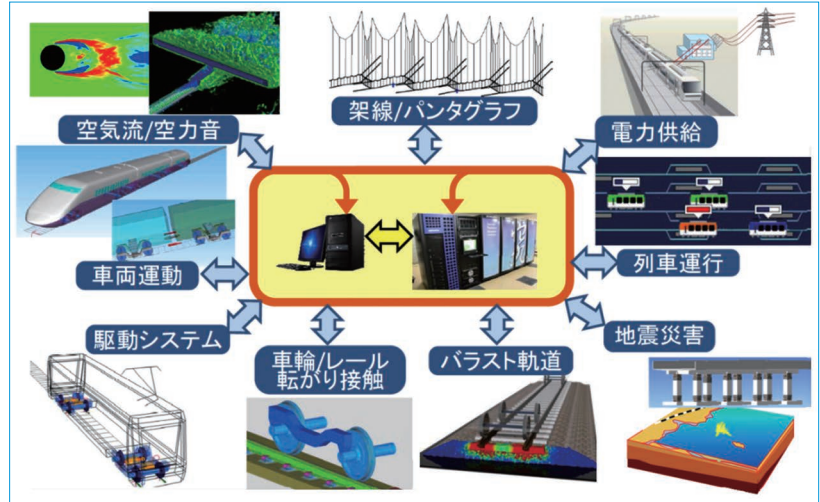


図11 鉄道シミュレーター構想

車通過時に大きな振動が生じる橋（以下、共振橋りょう（☞参照））が増加しています。列車が橋の上を通過する際に、通常は図8 (a) のようにほぼ一定の振幅を示しますが、共振時には (b) のように徐々に橋りょうの揺れが増大し、列車の乗り心地の悪化などを引き起こします。

図9は、走行する車両上で計測したデータを用いて共振橋りょうを検出する手法を単純化して説明したものです。共振時の橋の揺れは、先頭車両が橋に差し掛かった時よりも、最後尾の車両が通過するときの方が大きくなってい

☞ 共振橋りょう

走行列車が鉄道橋を加振する振動数と橋桁の揺れやすい振動数（固有振動数）が近い場合に、列車が橋上を進むにつれて、橋の揺れが増大する現象（共振）が発生する橋りょう。列車の乗り心地や走行安全性の低下につながる可能性があり、検知と対策が必要。

ます。この揺れの大きさの違いを列車の先頭と最後尾に取り付けたセンサーで計測することで、共振が発生している橋を検出できます。

数値シミュレーション技術

先にも述べましたが、鉄道の研究開発において、数値シミュレーションによる定量的な予測が、近年の計算機の性能向上とも相まって大きな役割を果たすようになりました。ここでは、鉄道総研のシミュレーション技術を紹介します。

スーパーコンピューター

鉄道総研では、計算機の発展と研究開発のニーズに合わせたスーパーコンピューターを自前で備えており、鉄道固有現象の解明を目的とした基礎研究から、高速化や環境との調和に向けた実用的な研究に至るまで、幅広く活用してきました。図10に2018年度に導入した鉄道総研のスーパーコンピューター「究2」(CrayXC50)の外観を示

します。9504コアを保有する大規模並列計算機かつ多目的汎用計算機で、821.1TFLOPS（☞参照）の理論演算性能を有しており、有名な理化学研究所の「京」コンピューターの10分の1程度の性能を有しています。

バーチャル鉄道試験線

計算機の高速・大容量化を背景として、鉄道総研がこれまでに開発したさまざまな鉄道固有現象の数値シミュレーション技術を統合して、サイバー空間上にデジタル化した鉄道シス

☞ 慣性正矢装置

車両で測定した加速度を積分して軌道の変位を求める慣性測定法に正矢法という軌道検測方法を取り入れて性能を高めた軌道検測装置。

☞ TFLOPS

コンピューターの処理性能を表す単位の一つ。浮動小数点演算という計算を1秒間に1兆回行うことを表す単位。



図12 バーチャル鉄道試験線(鉄道総研構内試験線のVR表示例)

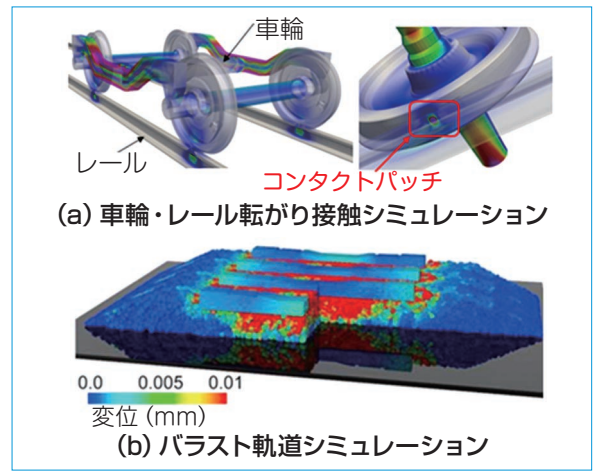


図13 数値実験室の例

テムを再現する「鉄道シミュレーター(図11)」の構築を行っています。

鉄道シミュレーターのうち、車両運動、駆動制御、軌道、架線・パンタグラフなどの列車走行系のシミュレーション技術を統合したものを「バーチャル鉄道試験線」とよんでおり、鉄道路線をサイバー空間上に再現して複雑な鉄道固有現象を解明するツールとして開発しています。現在は鉄道総研の試験線と2両編成の試験電車を再現しており、車両、線路、周辺施設を含めてバーチャルリアリティー空間で可視化できるようになっています(図12)。

数値実験室

また、解析対象をより精緻にモデル化して、計算時間はかかるものの高い精度で計算を行うことで、実験の一部代替・補完を目指すシミュレーションを「数値実験室」と位置づけて開発を行っています。

図13に数値実験室の例を示します。上図は、車輪・レール転がり接触シミュレーションで、車輪とレールを細かく分割して各要素の運動を計算して、接触表面の応力やすべりを計算することができます。下図は、バラスト軌道シミュレーションで、一個一個のバラストをモデル化して、バラスト碎石の回転・移動や摩擦を含めたバラスト軌道の挙動を計算することができます。これらのシミュ

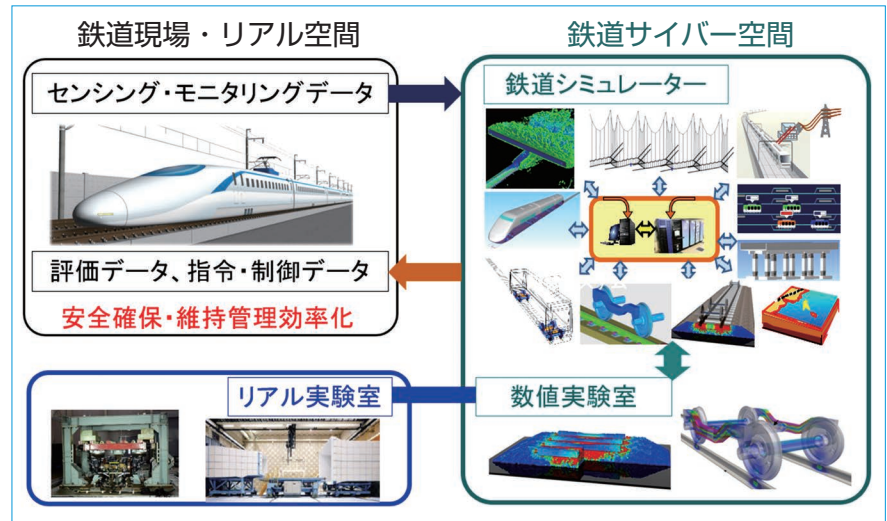


図14 将来の鉄道での基盤技術の役割

レーション技術を用いて、複雑な鉄道固有現象の解明に取り組みます。

鉄道の革新への基盤技術の応用

我々が開発する実験・計測技術やシミュレーション技術は、単なる現象解明ツールとして用いるだけでなく、鉄道の革新に寄与するツールとして発展させていきたいと考えています。

図14は、筆者が考える未来の鉄道と基盤技術の関係を表しています。リアル空間の鉄道現場で計測されたさまざまなデータを、サイバー空間上のデジタル化された鉄道システムに作用させることで、事故・災害の影響や、車両や構造物の劣化・損傷などを予測、評価します。その結果をリアル空間の鉄道に反映させて適切な制御や手当を行

うことで鉄道システムの最適化を図ります。サイバー空間上のデジタル化された鉄道システムは、リアル空間で得られたデータおよびリアル・数値実験の結果を用いて適宜バージョンアップして、予測・評価制度を高めていきます。筆者はこのような仕組みによって、激甚化する災害に対する鉄道の安全性の確保や、人手不足で継続が危ぶまれる鉄道インフラの維持管理の省力化を図りたいと考えており、今後も鉄道の発展に有用な技術の開発に取り組んでいきたいと思っています。

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ました。[RRR]