

- 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

個別シミュレーター群の連携



高垣 昌和
Masakazu Takagaki
鉄道力学研究部
計算力学研究室 室長
[専門分野] 計算力学

鉄道総研では、鉄道分野でこれまで個々に開発されてきたシミュレーション手法を互いに連携させることで、鉄道システムの最適化と複雑現象の解明に資する解析ツールとして「鉄道シミュレーター」の開発に取り組んできました。ここでは、構築したシミュレーション手法の実行、連成、可視化などの実行環境について紹介するとともに、鉄道シミュレーターを構成する空力・環境系、輸送系、電磁環境系シミュレーション手法について紹介します。

はじめに

近年、コンピューターの計算能力が格段に高くなってきており、それを前提とした大規模並列計算プログラムの開発や新たな計算力学解析手法の提案が行われています。鉄道分野においても、現象解明や対策手法を提案するため、実験や現車試験による現象の再現や調査が困難な事象に対して、数値シミュレーションの活用によって問題解決を図ることへの期待が高まっています。このような流れの中で、鉄道総研では、研究開発用ツールとして研究開発の質の向上と効率化を図るとともに、これにより鉄道システムの最適化と複雑現象の解明に資することを目的として「鉄道シミュレーター」の構築に取り組んできました。鉄道シミュレ

ターは、図1に示すような列車走行系、空力・環境系、事故・災害系のおもに動力学的なシミュレーション手法のほか、エネルギー系、電磁環境系、輸送系などの各種シミュレーション手法を実装し、これらを連携した研究開発用の解析ツールです。

ここでは、シミュレーション手法の実行環境として共通プラットフォーム、連成計算をつかさどる連成マネージャー、ならびに連成計算結果を時刻同期させて表示する統合可視化ツールといったシミュレーションの実行に必要なシステムを開発しました。また、鉄道シミュレーターを構成する空力・環境系の空気流シミュレーション手法、輸送系の列車運行・旅客行動シミュレーション手法、電磁環境系の鉄道通

信環境シミュレーション手法の機能向上および精度検証を行いました。さらに、前特集記事の「バーチャル鉄道試験線の構築」で紹介した列車走行系のシミュレーション群を実装した統合的な解析ツールとして「鉄道シミュレーター」を構築しました。

鉄道シミュレーターの共通プラットフォーム

鉄道シミュレーターに実装されるさまざまなシミュレーション手法の単独計算や連成計算を実施する計算環境を検討し、シミュレーション手法の実行環境や開発環境などを考慮して図2に示すシステムを構築しました。管理サーバー上に構築した共通プラットフォームは、シミュレーション手法の実行環境であり、自動的に選択されたスパコンやWindowsサーバー上でシミュレーションを実行できます。また、シミュレーション結果を表示するための可視化用のサーバーを設けています。これらの機能により、シミュレーション手法の実行から可視化までを一つの環境で実施できるシステムとなっています。鉄道シミュレーターの実行環境であ

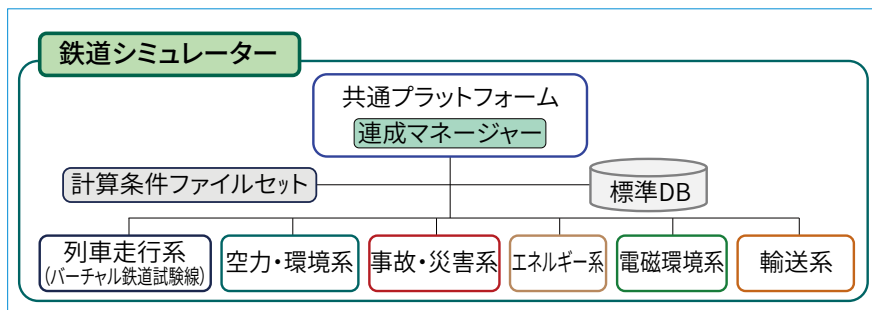


図1 鉄道シミュレーターの全体構成

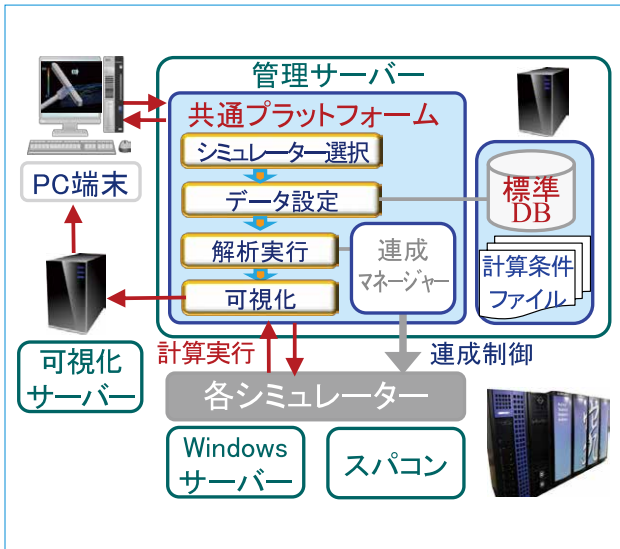


図2 共通プラットフォームの構成

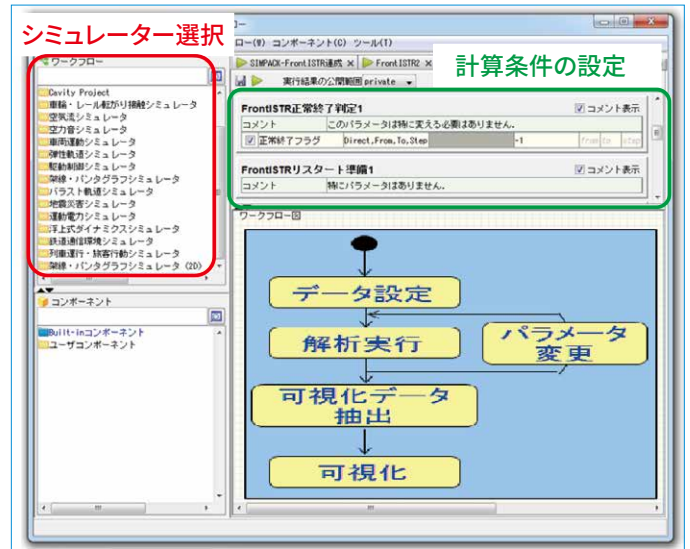


図3 共通プラットフォーム実行画面例

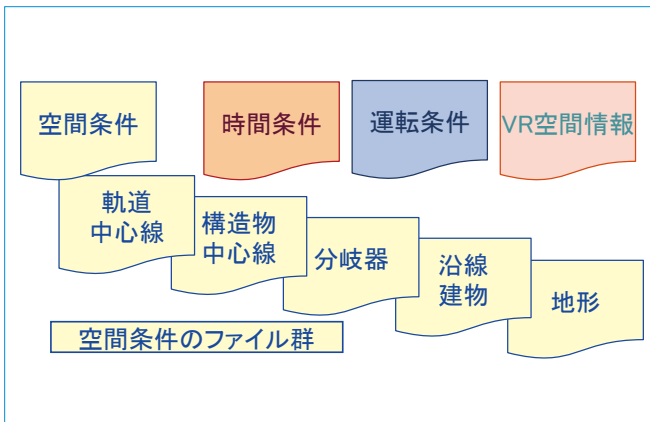


図4 連成計算の基本条件

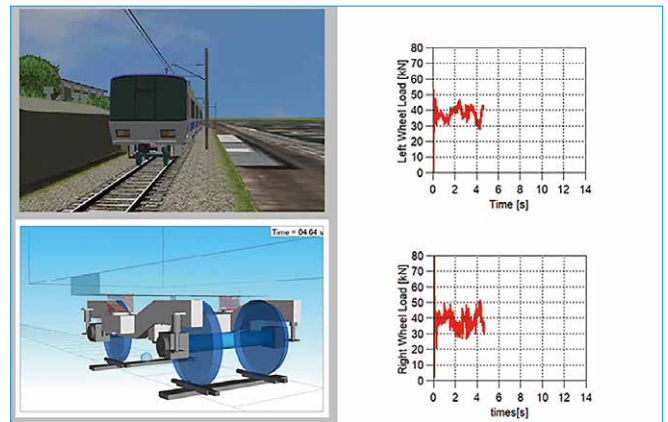


図5 計算結果の統合可視化表示の例

る共通プラットフォームは、単独のシミュレーションや連成計算を実行する環境として、計算パラメーターの設定、シミュレーションの実行、および計算結果の可視化など個々の処理を構成要素として分割して、シミュレーションに必要となる構成要素を組み合わせることにより自動でシミュレーションの実行が可能となります。図3は、ユーザーが共通プラットフォーム上でシミュレーションを実施する際の実行画面例となります。

鉄道シミュレーターの連成マネージャー

鉄道シミュレーターを構成するシミュレーション手法は個々に独立した

手法であるため、連成計算は、データを相互に参照しながら解く手法となっています。この解法は、研究目的と計算コストを勘案しながら連成計算の対象を選択できるという利点があります。

鉄道シミュレーターでは、シミュレーション手法間の計算条件の整合性、計算結果と可視化の同期や一貫性を保つことを目的に、「連成計算の基本条件」を導入しました。ここでは、連成インターフェイスの基本仕様に基づき、図4に示す空間条件、時間条件、運転条件、VR空間条件の4つの条件から構成されます。連成するシミュレーション手法は、共通の条件を参照することで、連成計算の整合性が確保されます。

この整合性のとれた各シミュレ

ーションの計算条件ファイルの集合を計算条件ファイルセットとします。計算条件ファイルセットは、たとえば鉄道総研の所内試験線、各種特性を検証するための仮想的な試験線、試験車両などを任意に構成することができます。

連成計算結果の統合可視ツール

鉄道シミュレーターで実行された計算結果を表示するための統合可視化ツールを開発しました。とくに連成計算ではシミュレーションごとの結果を時刻同期して表示することで、計算結果を効果的に確認できるようになります。そこでは、計算結果のカウンター図、グラフ、および動画などは、通常、個々に表示されますが、これを統合し

て同時に可視化できます(図5)。さらに、俯瞰的で直観的な視点を付加するため、計算条件と整合性のとれた地形や線形をもったVR空間に、車両運動シミュレーションや架線・パンタグラフシミュレーションなどの列車走行系シミュレーションの車両挙動などの結果を表示できます。

空気流シミュレーション手法

編成車両周りの流れ場に起因する現象解明のため、空気流シミュレーション手法を開発しました。一例として、トンネル内車両動揺の発生メカニズムの解明のため、空気流シミュレーションが活用されました。

車両床下の蛇行流れの様子を図6に示します。水平断面(車両底面と地面との中間位置;床下高さ中心位置)について風速のコンターが示されており、低速領域(図中の青色部分)が車両の左右方向に変動します、つまり蛇行流れの様子がわかります。この結果より、蛇行流れが3両目以降で定常状態になっていることが確認できました。

また、車両周りのシミュレーションにおいて、より精緻にモデル化するため、車輪の回転を模擬する手法を導入し、輪軸回転の有無が台車部の流れ場に与える影響について調査しました¹⁾。今回、新たに導入した輪軸回転およびレール移動の模擬は、移動物体表面(レール、輪軸)の速度境界条件を計算領域内に埋め込む方法で行いました。図7に車輪中心断面の平均速度ベクトルを示します。輪軸回転を考慮した走行条件では、輪軸非回転の静止条件と異なり主流は車両の回転方向に引きずられます。車輪下流側で剥離していた流れも車輪の回転によって天井側へ巻き上げられ、台車部内に流れが誘起されることが確認されました。

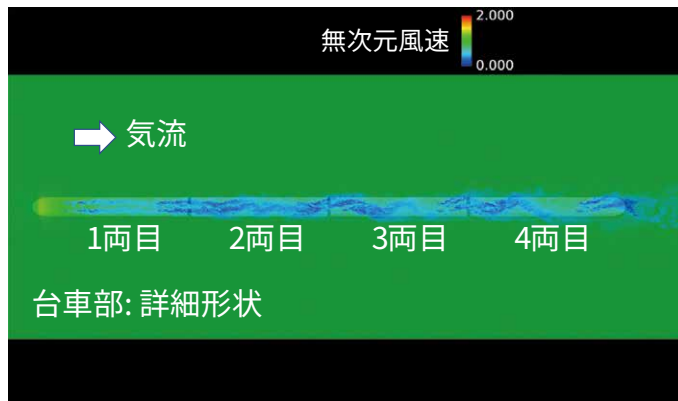


図6 編成車両床下の蛇行流れ

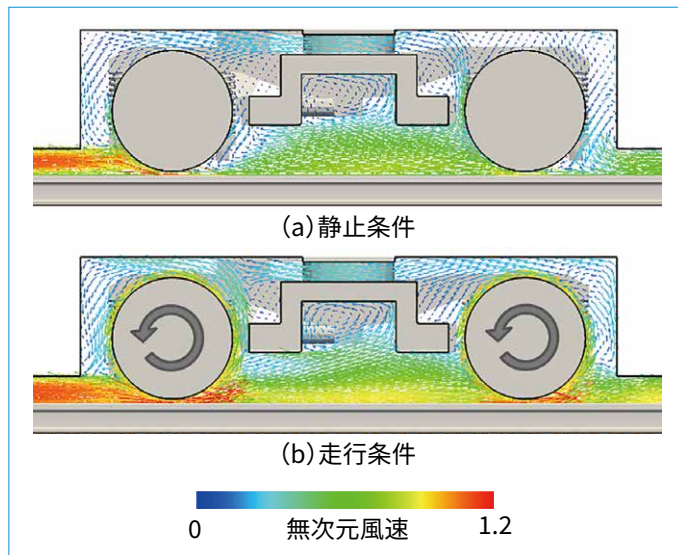


図7 車輪中心断面の平均速度ベクトル

列車運行・旅客行動シミュレーション手法

列車遅延の推定精度向上と、各旅客の乗車駅改札入場～降車駅改札出場までの快適性の評価を目的に、列車運行・旅客行動シミュレーション手法の開発を行っています。これまでに開発した列車運行・旅客行動シミュレーション手法²⁾をさらに機能向上させるため、旅客の乗車位置の嗜好^{しこう}を考慮した乗降時の遅延および乗車号車・扉を推定する乗降シミュレーション手法の連成計算を可能にしました(図8)。

開発した列車運行・旅客行動シミュレーション手法による計算例として、実路線の朝時間帯を対象に、提案手法を適用し、現行の列車運行状況、および乗降円滑化施策として、車両ドア幅

を拡大した場合、および旅客が乗降に協力的になった場合の運行状況を比較評価しました。その結果、ドア幅の拡大により、最大遅延が25秒減少し、他旅客近接時間が平均4.2秒減少する、乗降への協力により最大遅延が24秒減少し、他旅客近接時間が平均1.6秒減少するなど、効果が定量的に算出可能なことを確認しました。

鉄道通信環境シミュレーション手法

鉄道システム内での通信環境の評価には、無線・有線通信の伝送品質ならびに電波雑音や電磁誘導などさまざまな事象のシミュレーションが必要であり、また、これらは相互に影響することから連携する必要があります(図9)。

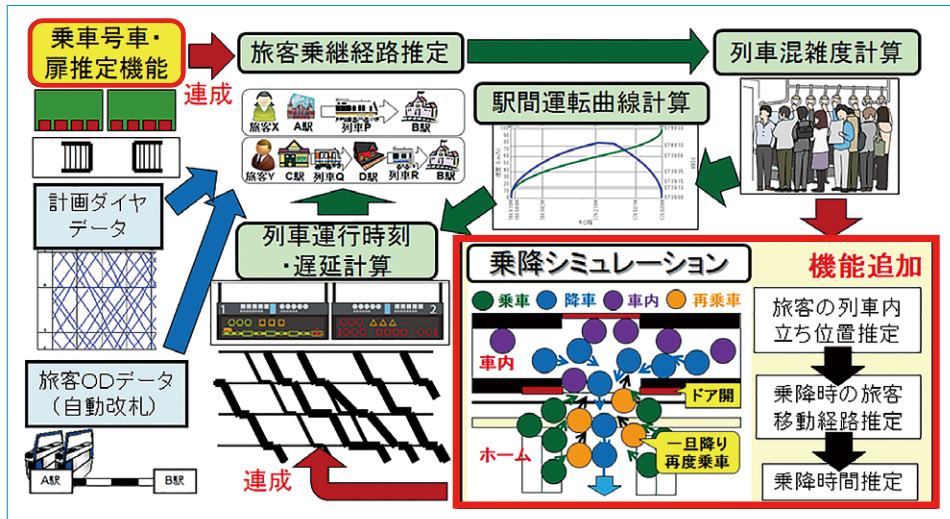


図8 列車運行・旅客行動シミュレーション手法の機能向上

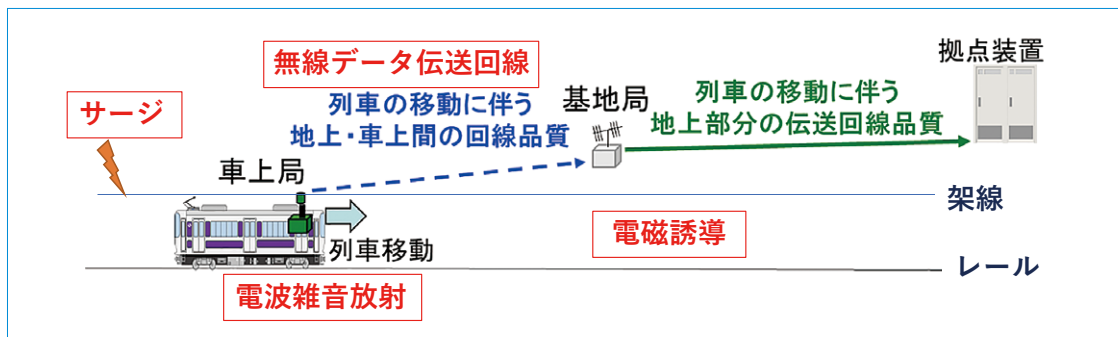


図9 鉄道の通信環境における統合的な品質評価

地上と列車間の通信品質を評価する無線データ伝送回線シミュレーションは、MIMO通信方式(※参照)への対応と沿線の建物による電波の反射を考慮できる電波伝搬モデル³⁾を構築しました。無線データ伝送では、列車走行により生じる電波雑音の影響を受けるため、線区長が数kmオーダーの範囲の電波雑音を評価できる電波雑音放射シミュレーション手法を提案しました。

一方、地上での通信品質の評価では、列車走行による架線やレール、沿線の通信ケーブルなどで生じる電磁誘導の

ため、通信品質に影響をおよぼすことからこれらの列車走行により生じる電磁誘導シミュレーション手法を開発しました。本手法では、落雷などで過電流が流れる場合のサージ解析を実行することが可能です。

開発したこれらのシミュレーション手法を連成させることにより、列車位置の移動による通信環境の変化にも対応して鉄道システムの無線・有線通信品質に関する総合的な評価が可能となります。

まとめ

鉄道総研が開発に取り組む「鉄道シミュレーター」において、シミュレーション手法の実行環境を構築するとともに、空力・環境系の空気流シミュレーション手法、輸送系の列車運行・旅客行動シミュレーション手法、および電

磁環境系の鉄道通信環境シミュレーション手法を開発しました。これらのシミュレーション手法とともに、もう一つの個別課題「バーチャル鉄道試験線の構築」で開発した列車走行系のシミュレーション群を実行環境に実装して「鉄道シミュレーター」を構築しました。[RRR]

文献

- 1) 中野宏章, 中出孝次, 室谷浩平: 輪軸回転を考慮した鉄道車両の台車部流れのLES, 日本機械学会2019年度年次大会講演論文集, S05523, 2019
- 2) 國松武俊, 平井力, 富井規雄: 列車運行・旅客行動シミュレーションシステムの開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.4, pp5-10, 2007
- 3) 川崎邦弘, 関清隆: 鉄道向け無線データ伝送回線シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.28, No.4, pp23-28, 2014

※ MIMO 通信方式

無線通信を高速化する技術の一つで、送信側と受信側がそれぞれ複数のアンテナを用意し、同時刻に同じ周波数で複数の異なる信号を送受信できるようにするもの。無線LAN (Wi-Fi) などで実用化されています。