

30周年を迎えた鉄道総研の研究開発

環境との調和



辻村 太郎
Taro Tsujimura
研究開発推進部
主管研究員

【専門分野】 環境影響評価、
材料



飯田 雅宣
Masanobu Iida
環境工学研究部
主管研究員

【専門分野】 空気力学

鉄道における「環境との調和」を考える場合の「環境」は大きく沿線環境と地球環境の二つに分けられます。沿線環境は鉄道が走行する際の周囲への影響であり、近年は鉄道の高速度を進める際の課題として騒音、振動などへの対応の重要性が増しています。一方、地球環境では地球温暖化、生物多様性の喪失などの諸問題が深刻化しています。鉄道にとって、地球温暖化の原因となるCO₂排出量の削減は本質的な課題の一つといえます。ここでは、主に沿線における騒音・振動の低減と地球環境負荷低減につながる省エネルギーに関する最近の取り組みと今後の展望について紹介します。

沿線環境

騒音、地盤振動、トンネル微気圧波などの現象が沿線環境に及ぼす影響を低減するためには、発生メカニズムの解明と予測評価手法の構築、そして対策の開発が必要となります。ここでは、最近の主な取り組みと今後の展望について述べます。

沿線環境に関する最近の研究成果

(1) 沿線騒音

鉄道騒音の音源は、転動音、構造物音、空力音、車両機器音などさまざまですが、高速の新幹線では主に空力音、

在来線では転動音、衝撃音、きしみ音、構造物音、機器音の低減が重要です。

車輪がレールを転がる際に発生する転動音およびレール継目で発生する衝撃音に関しては、それらの予測手法を開発しました(図1)。いずれの手法も騒音発生メカニズムに基づく理論モデルをベースとしており、営業線や試験線での測定結果によって予測結果の妥当性を検証しました。また、転動音の低減対策として、近傍騒音レベルを約2dB低減可能な「レール防音材」を開発しました。

構造物音に関しては、3次元有限要素法による構造物振動解析と3次元境界要素法による音響伝搬解析を組み合わせた低周波数域を対象としたシミュレーションを開発し、実測結果によって検証しました。

空力音に関しては、風洞実験技術向上のため、面的に流れ場の計測が可能な粒子画像流速測定法(PIV)を用いた空力音源評価技術、長大編成列車の屋根上および床下の流れ場を実験的に模擬したパンタグラフおよび台車部の空力音評価技術などを開発しました。ま

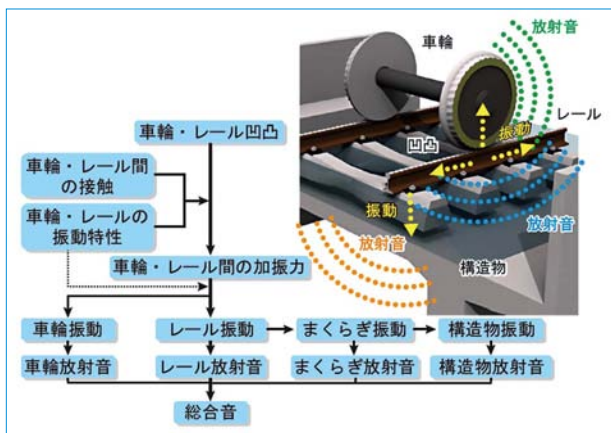


図1 転動音・構造物音の予測手法¹⁾

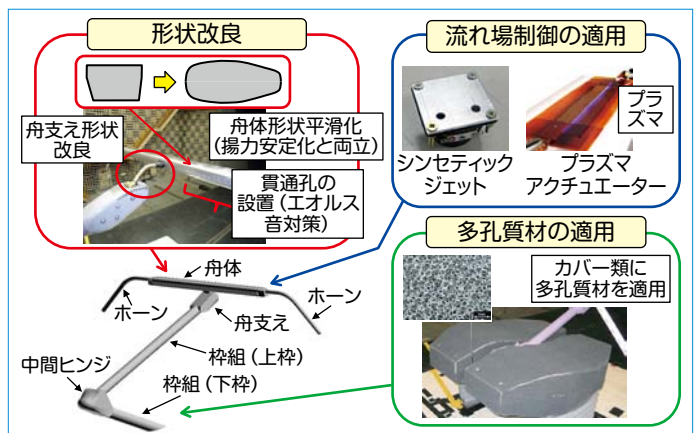


図2 パンタグラフ空力音の低減手法²⁾

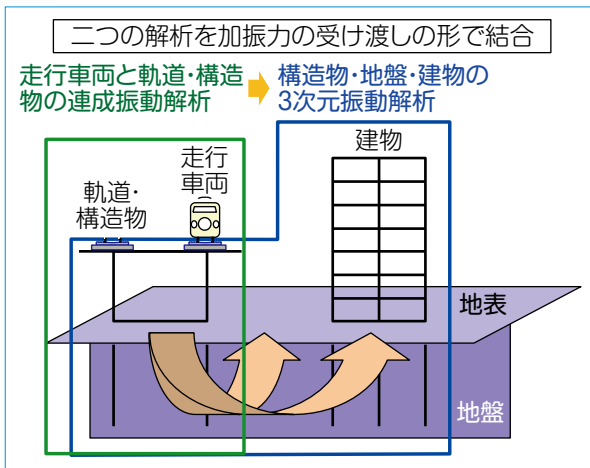


図3 地盤振動予測シミュレーション³⁾

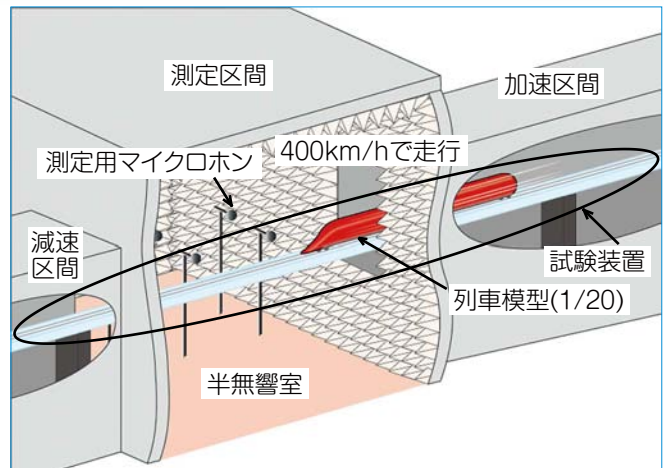


図4 低騒音列車模型走行試験装置

た、将来的に風洞実験を補完・代替することが期待される空力音の数値シミュレーションに関する基礎研究も進めました。

空力音の低減対策としては、車端部を丸みづけることによる車間部空力音対策および多孔質材貼付や形状改良によるパンタグラフ空力音対策の開発を行いました(図2)。また、アクチュエーターを用いた流れ場の直接制御による空力音低減技術の基礎研究を行いました。

そのほか、各音源の寄与を総合し、新幹線・在来線の沿線での全体騒音を実用的に予測する手法の改良を継続的に進め、トンネル坑口、切土区間、跨線橋、高層建物などの高所空間、住宅密集地などへの対応を図るとともに、予測精度を向上させました。

(2) 地盤振動

沿線で発生する地盤振動の予測や対策の検討ツールとして、従来の経験的な手法に加えて、シミュレーション手法の開発を行いました(図3)。シミュレーションは、車両の振動・移動効果を考慮した移動加振力解析と構造物・地盤・建物の3次元振動伝播解析を組み合わせたもので、地盤の物性値などを適切に与えれば実測値とよく一致することがわかりました。なお、地盤振

動は基本的に明かり区間で問題となる現象ですが、まれにトンネル区間上方の地表面の振動が問題となることがあり、この現象についても数値シミュレーションおよび対策の検討を行いました。

(3) トンネル微気圧波

トンネル微気圧波は、列車のトンネル突入による圧縮波形成、トンネル内の圧縮波伝播、トンネル出口からの微気圧波放射の3つの段階を経て発生します。この各段階に対応した予測手法の開発を進め、緩衝工、枝坑、坑口地形への対応などの機能拡張と予測精度の向上を行いました。また、実物の先頭車両を詳細に模擬したトンネル突入実験が可能な模型発射装置を開発しました。

トンネル微気圧波の対策に関しては、従来からの対策であるトンネル緩衝工および車両先頭部の最適化に関する研究を深度化するとともに、複数トンネルをシェルターで接続する対策を検討しました。さらに、新たな低減原理に基づく微気圧波対策として、スラブ軌道トンネル内にバラストを敷設する対策および微気圧波放射坑口に設置する内壁付きフードによる対策を検討し、現地試験などで低減効果を確認しました。

沿線環境に関する今後の取り組み

鉄道の高速化にともない、沿線環境

負荷低減への要求はさらに高度化することが予想されます。この課題に応えるためには、研究手法の革新が必要です。そこで、実験手法の革新を目指して、空力音、トンネル微気圧波、圧力変動などの空気力学的な現象を対象とした「低騒音列車模型走行試験装置」を整備する計画です(図4)。また、解析手法の革新のため、スーパーコンピュータなどを利用した大規模数値シミュレーションを今以上に活用していきます。

地球環境

地球環境問題と鉄道

鉄道に起因するCO₂排出量や資源消費量の削減などの環境負荷をいかにして削減していくかといった「緩和」の観点と、地球温暖化の進行にともなう生じる気候変動の激化にいかに対応して安全・安定輸送を維持していくかといった「適応」の観点があります。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第5次報告書(2014年11月)では、地球温暖化、気候変動の影響は不可避免であり、それへの適応について従来以上に論じられています。鉄道においては、気象災害の増大が想定されますが、防災・減災への取り組みは別途行って

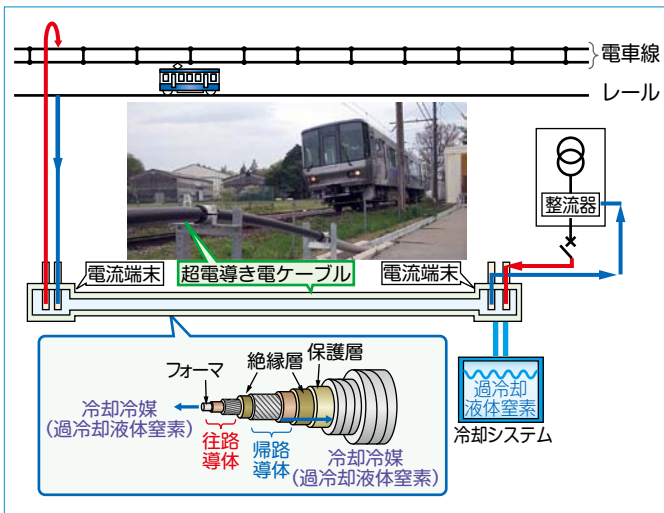


図8 超電導き電ケーブルシステム⁵⁾

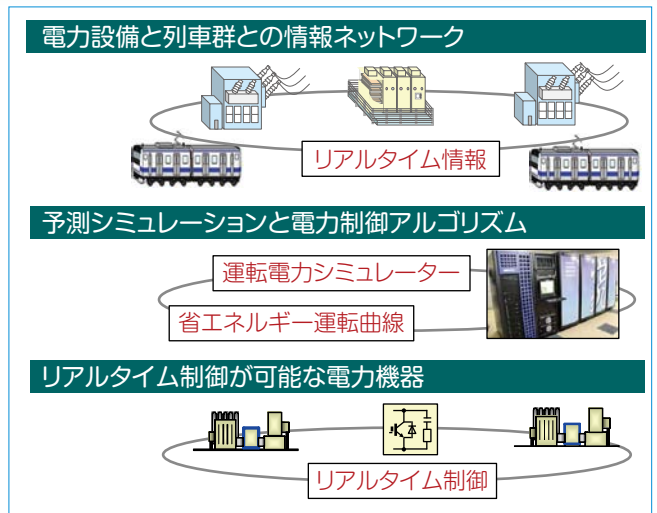


図9 エネルギーネットワークの3つの機能⁶⁾

で実用化されています。また、誘導電動機の高効率化では、低損失材料の使用と新しい回転子構造の採用で上記と同様に1割程度削減できることを示しました。

⑤超電導き電ケーブル：直流電気鉄道のき電系への適用をめざして超電導ケーブルの開発に着手し、ケーブル構造や冷却方法、適用方法などの基礎的な検討を行い、2013年にはき電ケーブルに適用しての電車の走行試験、2014年には300m級ケーブルでの通電性能の確認を行いました(図8)。これまでに得られた種々のデータから、適用の効果としては、回生失効や送電損失の低減が期待でき、線材の超電導状態を維持するための冷却に要するエネルギーを考慮しても消費エネルギーが低減するとの試算結果も得られています。

⑥省エネルギー運転シミュレーション：2007年にはディーゼル車両用、2009年にはさまざまなハイブリッド車両用の運転エネルギーシミュレーターを開発してきました。2014年には、地上設備・車両・運転操縦を連成した電車の高精度なシミュレーターを開発しました。どのような運転パターンが省エネルギーであるか、同一線区で各種

車両を走らせた場合の消費エネルギーはどのくらいかなどを評価することができ、新たな省エネルギー技術の事前評価や開発の方向性を判断する際の参考とすることができます。

省エネルギーに関する今後の取り組み

これまでに紹介した成果を発展させ、実用化に向けた取り組みを継続して進めています。加えて、以下に示すエネルギーネットワークによる省エネルギー化にも重点的に取り組んでいます(図9)。

①車両・運転・電気連携：電気鉄道では、どれだけ無駄なく電気を使うかが重要です。これまでは、車両・運転・電気の各分野用の運転電力シミュレーターを用いて消費電力量を評価していましたが、それらを連携して評価ができるようになってきています。この技術を用いて、列車群と電力設備が連携したさらなる省エネルギーの達成を目指しています。

②電力ネットワークのリアルタイム制御：列車群と電力設備の連携には電力ネットワークのリアルタイム制御が必要であり、そのための電力設備として高機能整流器、直流高電圧き電方式、超電導き電ケーブルや超電導磁気軸受フライホイールの開発を進めています。

今後の取り組み

沿線環境では電磁環境対策、地球環境では環境負荷の低い材料の導入などについても取り組んでいます。これらを含めた幅広い課題について、これからの循環型社会構築に向け、その重要なインフラの一つである鉄道も沿線環境と地球環境の二つの環境との調和を主要な課題として研究開発を進めてまいります。

なお、本稿で紹介した研究の一部は、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

文献

- 1) (公財)鉄道総合技術研究所：主要な研究開発成果(2009年度), <http://www.rtri.or.jp/rd/seika/2009/seika2009.html>
- 2) (公財)鉄道総合技術研究所：主要な研究開発成果(2008年度), <http://www.rtri.or.jp/rd/seika/2008/seika2008.html>
- 3) 横山秀史, 伊積康彦, 渡辺勉：3次元振動解析による地盤および建物振動の予測シミュレーション手法, 鉄道総研報告, Vol. 29, No. 5, pp. 41-46, 2015
- 4) 兎束哲夫, 秦広：鉄道の省エネルギー, RRR, Vol. 72, No. 8, pp. 4-7, 2015
- 5) (公財)鉄道総合技術研究所：主要な研究開発成果(2013年度), <http://www.rtri.or.jp/rd/seika/2013/seika2013.html>
- 6) 兎束哲夫：電力制御のリアルタイム化によるエネルギーネットワーク, 第28回鉄道総研講演会, pp. 31-37, 2015