

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

環境と調和した鉄道をめざして

鉄道はエネルギー効率の高い地球環境に対して優れた交通機関ですが、鉄道の社会的価値や経済性の向上のためには、さらなる省エネルギー技術の開発が期待されています。一方、列車の走行にともない、沿線に騒音、トンネル微気圧波、地盤振動などの環境問題を引き起こす場合があります。環境負荷を増大させることなく、速度向上や輸送力増強を可能にするための技術開発も求められています。ここでは、環境と調和した鉄道をめざした取り組みとして、沿線環境に関わる研究事例を中心に紹介します。



長倉 清
Kiyoshi Nagakura
環境工学研究部
部長
【専門分野】音響工学

鉄道分野における環境問題

鉄道分野における環境問題は、沿線環境に関わる問題と、地球環境に関わる問題に分けられます。列車が走行する際に発生する騒音、トンネル微気圧波、地盤振動などは、沿線住民の暮らしに関わる身近な問題です。速度向上や輸送力増強などによる利便性の向上と沿線環境の維持、向上を両立するためには、環境負荷の低減技術の開発は必須といえます。また、地球環境に関しては、地球温暖化の原因となるCO₂排出量の削減につながる省エネルギー技術の開発は、鉄道にとって時代を超えて常に取り組みべき課題の一つといえます。

沿線環境に関する研究開発

鉄道沿線における環境問題

鉄道車両が走行すると、車両と地上構造物との間には相互作用力が働きます。また、車両が高速で走行すると、周囲の空気との間の相互作用力の影響も大きくなります。これらの相互作用力は、沿線に騒音、トンネル微気圧波、地盤振動などの環境問題を引き起こす場合があります。その低減が重要な課題となっています。鉄道総研では、現車試験、実験室内試験、数値シミュレーションなどの手法を用いて、これらの現象の発生メカニズムの解明、予測・評価、低減対策に関する研究開発を進めています。

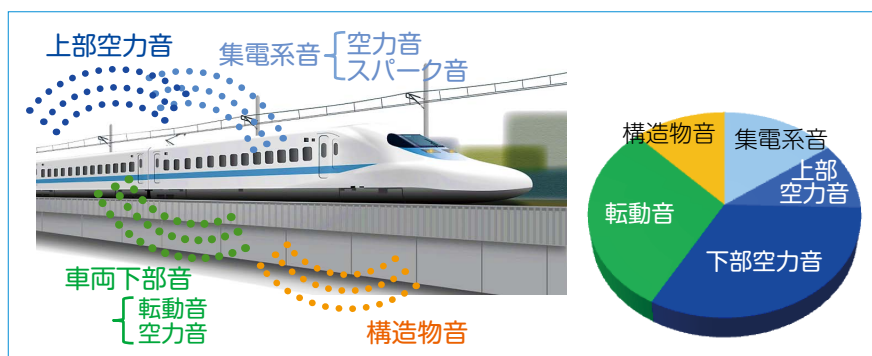


図1 新幹線騒音の音源と地上25m点における音源別寄与度の試算例
(コンクリート高架橋、スラブ軌道、レールレベルからの高さが2mの防音壁、速度320km/h)

沿線騒音

鉄道騒音は、車輪・レールや構造物などの固体振動に起因する音、車両に搭載されたさまざまな機器からの発生音、高速で走行する車両と空気の相互作用により発生する空力音など、発生原理の異なるさまざまな音源から構成される複合騒音です。このような複合騒音を効率的に低減するためには、沿線におけるそれぞれの音源の寄与を分析し、寄与の大きい音源に対して優先的に対策を行うことが必要です。

新幹線鉄道騒音は、転動音、構造物音、車両空力音、スパーク音が主要な音源であり(図1)、それぞれの寄与度は時代とともに変遷してきました。現地試験データを用いた音源解析結果から、最新の新幹線車両が300km/hを超える速度で走行する場合には、車両下部音が最も大きく、集電系音がそれに次ぐこと、車両下部音の中でも空力音の寄与率が速度とともに増大することが明らかになっています(図1)¹⁾。

そこで、新幹線の速度向上による沿線騒音増大を抑えるために、台車部および集電系から発生する空力音の発生メカニズムの解明、低減策の開発に取り組んでいます。台車部空力音については、実車での床下流れを再現した風洞試験で台車部空力音を定量的に評価する手法を開発し、同手法での評価結果に基づいて台車を構成する各パーツからの空力音の寄与率を明らかにしました(図2)²⁾。これらの成果をもとに台車部空力音の低減策の開発を進めているところ です。

集電系空力音については、パンタグラフの舟体、舟支えなどの形状改良や多孔質材貼付などの騒音対策の研究、流れ場制御などの新しい手法についての基礎的な研究などを進めています³⁾。これらの要素技術を組み合わせ、さらに改良を加えることにより、実機に適用

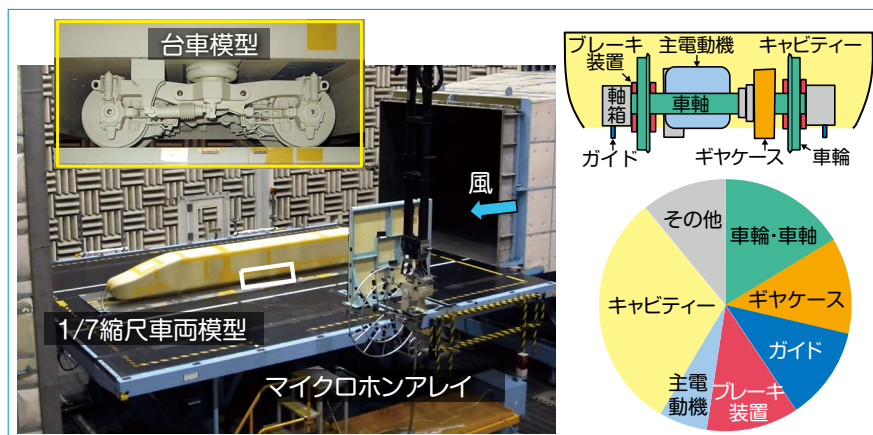


図2 風洞試験で得られた台車部構成部位の音源寄与率

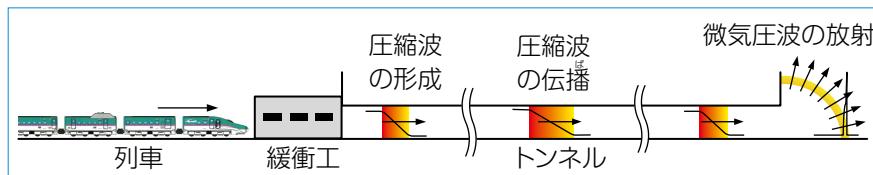


図3 トンネル微気圧波の発生原理

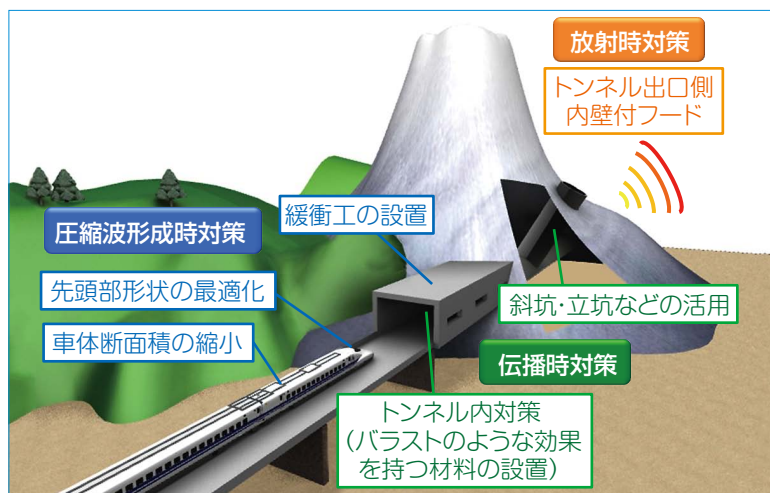


図4 トンネル微気圧波の対策

可能な低減策の開発をめざしています。

また、図1に示した音源別寄与度は通常の高架橋区間での試算例ですが、切土区間や周囲に跨線橋や家屋などの騒音伝播に影響を与える構造物が存在する場合は、切土のり面や周辺構造物の反射や遮蔽により音源別寄与度が変わり、その結果、必要な対策も変わってきます。そのため、周辺構造物などの反射や遮蔽の影響も考慮可能な騒音予測手法に関する研究も行っています⁴⁾。

トンネル微気圧波

トンネル微気圧波は、列車が高速でトンネルに突入したときに発生する圧

縮波がトンネル内を音速で伝播し、反対側の出口からパルス状の圧力波が外の空間に放射される現象であり、坑口付近での発破音の発生や家屋の建具がたつきなどの、沿線の環境問題を引き起こすことがあります(図3)。微気圧波の対策としては、トンネル緩衝工の設置や列車先頭部の延長・形状の最適化などの圧縮波形成段階での対策が基本ですが、今後の新幹線速度向上に対応するには、トンネル内の圧縮波伝播の段階、坑口からの微気圧波の放射段階についても対策を講ずる必要があります(図4)。このため、トンネル緩

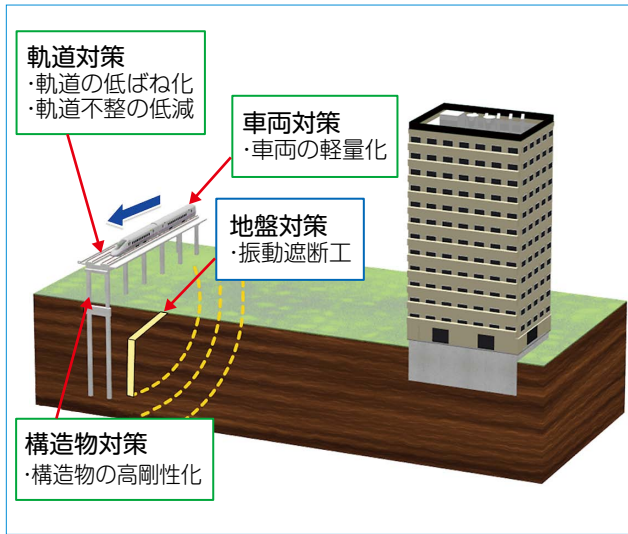


図5 地盤振動の対策

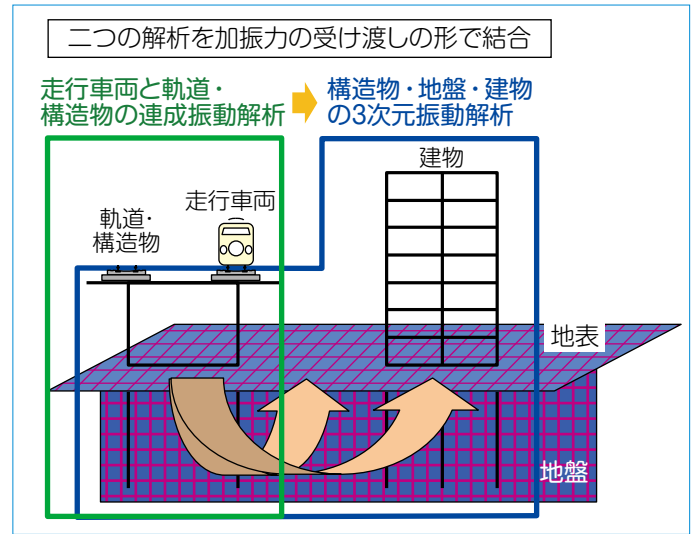


図6 高架橋、地盤、建物の振動シミュレーション

衝工のさらなる性能向上などの圧縮波形成段階での対策に加え、トンネル内の圧縮波伝播の段階、坑口からの微気圧波の放射段階における低減対策および予測評価手法に関する研究を進めています。

圧縮波伝播段階については、スラブ軌道トンネル内にバラストを敷設するトンネル内対策について検討しました。新幹線スラブ軌道トンネルでの現地測定の結果、バラスト敷設量の増加によりトンネル内圧縮波の波面圧力勾配最大値の増加を抑制し、トンネル坑口から放射される微気圧波を低減できることを確認しました⁵⁾。さらにバラスト敷設時の圧縮波の数値解析方法を検討し、現地測定結果とよく一致することを確認しました。

微気圧波の放射段階については、既設緩衝工の内部を線路方向に2分割し、分割した一方の坑口を閉鎖する構造のフード(内壁付きフード)を提案しました⁶⁾。内壁付きフードの微気圧波低減効果を音響理論によって示すとともに、模型実験によって理論通りの低減効果が得られることを確認しました。

地盤振動

地盤振動は、車輪・レール間に作用する加振力が軌道、構造物を振動させ、さらに構造物の基礎から地盤に振動が伝わることにより発生します。沿線近傍に建物がある場合は、地盤から建物の基礎へ振動が伝わり、建物全体が振動します。地盤振動の対策としては、車両での対策、軌道・構造物での対策、地盤での対策に大別されます(図5)が、これらの対策を適切に実施していくためには、車両、軌道、構造物、地盤、沿線建物を一体的に評価できるシミュレーションの活用が有効です。

そこで、沿線の地盤や建物に生じる振動の予測や低減策の検討ツールとして、従来の経験的な手法以外に、数値シミュレーション手法の開発に取り組んでいます。この手法では、計算規模や計算速度などの制約のため、走行車両・軌道・構造物の振動解析モデルと構造物・地盤・沿線建物の3次元振動解析の二つの解析モデルに分割した上で両者を連携させる構成を採用しています(図6)⁷⁾。本シミュレーションの結果を実測値と比較したところ、構造物、地盤、建物のそれぞれの振動につ

いておおむね良好に一致する結果が得られました。ただし、鉄道構造物や建物などの構造物と地盤との振動伝達特性のモデル化方法や地盤の物性値の与え方などに課題が残されています。今後、これらの課題についての検討を進めて解析精度を向上させ、地盤振動の予測や鉄道振動対策法の検討に活用していく予定です。

省エネルギーに関する研究開発

鉄道におけるエネルギー消費

我が国の鉄道においては、使用するエネルギーの大部分を電力が占めています。JRおよび地下鉄を除く民鉄各社の環境報告書などによれば、車両を動かすために使用する電力(変電・き電、車両などでの消費電力)が80%前後、駅施設などで使用する電力が20%前後を占めています。また、車両で使用する電力は、駆動用電力と空調、照明などの補機用電力に分類され、その割合は最高速度や駅間距離などに依存しますが、おおむね8:2程度と推測されています。

最近の研究事例

鉄道におけるエネルギー消費を低

減するには、エネルギー消費を分析し、消費量の多い項目の削減を図ることが効果的です。鉄道における消費エネルギーの分析と省エネルギーの方策について整理したものを図7に示します。また、図7の分類に基づいて、最近実施している省エネルギー研究開発事例を整理したものを表1に示します。ここでは項目をあげるにとどめますが、車両エネルギー、変電・き電エネルギーを主対象としたエネルギー効率向上に資する要素技術の研究開発に取り組んでいます。

また、従来は変電所などの地上側電力設備と走行する列車群とを個別に管理していましたが、さらなるエネルギー効率の向上をめざして、両者の情報を相互に交換することによって連携させてリアルタイム制御していくシステムを提案しています⁹⁾。そのために必要な技術として、電力設備と列車群を結ぶ情報ネットワーク、電力、運転、車両の個別のシミュレーターを連成させた統合的な電力消費シミュレーター、リアルタイム制御が可能な変電設備および制御アルゴリズムの開発にも取り組んでいます。

おわりに

鉄道は地域に密着した交通機関であり、地域との共生の観点からも沿線環境問題である騒音、トンネル微気圧波、地盤振動などへの対策は、ますます重要な課題となってくると考えられます。また、省エネルギーは鉄道の強みですが、自動車、航空機などの分野でも飛躍的な省エネルギー化をめざした開発が進んでおり、鉄道においてもさらなるエネルギー効率の向上が求められています。今後とも沿線環境と地球環境の二つの環境と調和した鉄道をめざした研究開発を進めていきます。[RRR]

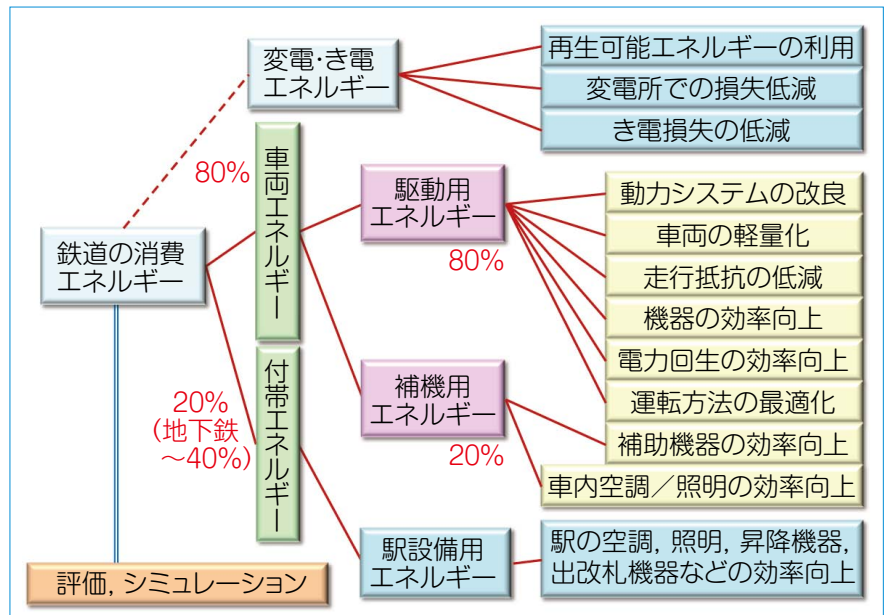


図7 鉄道の消費エネルギーの分析と省エネルギーの方策⁸⁾

表1 省エネルギー研究開発

省エネルギー方策		研究開発項目
車両エネルギー	動力システムの改良	蓄電池電車／燃料電池車両
	車両の軽量化	難燃性マグネシウム合金の車体構体への適用
	走行抵抗の低減	屋根上・床下平滑化による空気抵抗低減
	機器の効率向上	永久磁石同期電動機／高効率誘導電動機
	電力回生の効率向上	地上蓄電設備(超電導磁気軸受フライホイールなど)
	運転方法の最適化	省エネルギー運転曲線
変電・き電エネルギー		超電導き電ケーブルシステム 高性能整流器／直流高電圧き電方式

※個別の内容については、文献9) や本号の特集記事などを参照

文献

- 1) 飯田雅宣：高速化のための沿線環境の評価・対策，RRR，Vol.72，No.7，pp.44-47，2015
- 2) 山崎展博，宇田東樹，北川敏樹：新幹線の台車構成機器が台車部空力音に及ぼす影響，環境工学総合シンポジウム講演論文集，No.26，ID:130，2016
- 3) 光用剛，池田充，末木健之，臼田隆之，深湯康二：パンタグラフの空力音を低減する，RRR，Vol.75，No.7，pp.16-19，2018
- 4) 小方幸恵，阿久津真理子，北川敏樹：鉄道沿線における騒音予測手法を拡張する，RRR，Vol.75，No.7，pp.24-27，2018
- 5) 福田傑，中村真也，宮地徳蔵，斉藤実俊，木村宣幸，松沼政明：スラブ軌道トンネル内バラスト敷設による微気圧波対策，鉄道総研報告，Vol.31，No.9，pp.23-28，2017
- 6) 斉藤実俊，宮地徳蔵，飯田雅宣：内壁付きトンネル出口フードへの列車突入時性能に関する模型実験，鉄道総研報告，Vol.29，No.5，pp.5-10，2015
- 7) 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
- 8) 辻村太郎，飯田雅宣：環境との調和：RRR，Vol.73，No.12，pp.28-31，2016
- 9) 兎束哲夫，秦広，他：特集 鉄道の省エネルギー，RRR，Vol.72，No.8，pp.3-27，2015
- 10) 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回鉄道総研講演会要旨集，pp.31-37，2015