

環境技術に関する最近の研究開発

飯田 雅宣*

Recent Studies on Environmental Technology

Masanobu IIDA

Environmental technology in railways covers a wide range of issues, such as wayside noise and ground vibration, low-frequency sound, energy and resource conservation, biodiversity, sanitation in stations/trains, and electromagnetic fields. It is necessary to mitigate the effects of these phenomena to aim at realizing environment-friendly railways. This review describes the outlines of recent studies performed on them by Railway Technical Research Institute.

キーワード：環境，騒音，地盤振動，低周波音，空気抵抗，生物多様性，衛生，電磁界

1. はじめに

鉄道の環境問題には、地球環境、沿線環境、駅環境、車内環境と、対象とする空間スケールに応じた様々な問題があり、車両、施設、電気、材料、人間科学など、広範な技術分野が関係している。そのため、鉄道総研のほとんどの研究部で環境に関する研究開発を実施している。その中で、特に環境工学研究部では、他の研究部とも連携し、騒音、低周波音などの沿線環境に関わる問題、空気力学的現象に関わる問題、生物工学に関わる問題を扱っている。ここでは、沿線環境問題を中心に、その他の地球環境、電磁環境などの事柄も含めて、最近の環境技術に関する研究の状況を紹介する。

2. 沿線騒音

鉄道騒音の原因は、転動音、構造物音、空力音、車両機器音など様々であるが、新幹線と在来線、高架橋と盛土など、条件により主たる音源が異なってくる。レール継目での衝撃音や急曲線でのきしみ音などの特殊条件下で発生する音を除くと、新幹線では、空力音、転動音、構造物音の寄与が大きく、一方在来線では、最近の低騒音ファン等を採用した車両を前提とすれば、転動音、構造物音の寄与が大きい。そのため、空力音、転動音、構造物音を重点的にとりあげて研究を行っている。

2.1 空力音

空力音は速度依存性が高く、新幹線の速度向上とともに

に、その低減がますます重要となっている。空力音の研究は、風洞実験、数値シミュレーション、現車試験といった多様なアプローチで進められる。特に風洞実験の有効性は高く、基礎研究から実用開発に至る幅広い用途で活用されている。ただし、現状では風洞実験にもいくつかの問題点があり、その多くは流れ場にセンサーを入れて流速や圧力を測定することに起因している。しかし、近年、粒子画像流速計測という技術が発展し、センサーを流れ場に入れることなく、時間変化する流れ場を面的に捉える事ができるようになってきた。鉄道総研では、大学との共同研究により、この技術を活用した非定常流れ場測定により空力音源を解明する研究を行っている¹⁾。また、風洞実験には、現車まわりの流れの再現性という問題点もある。新幹線では先頭部から100m以上の距離に渡って発達してきた屋根上の境界層の流れがパンタグラフに当たることになるが、限られた長さの風洞測定部でこの状況をそのまま再現することはできない。そこで、現車と相似な屋根上境界層を風洞測定部内に生成する手法の研究を進めている²⁾(図1)。さらに、風洞実験と並行して、近年進展が著しい空力音の数値シミュレーション³⁾にも力を入れており、現象解明の有力なツールとして、今後その活用をさらに進める予定である。

空力音の対策として、現在力を入れているのは、多孔質材を利用する方法である。円柱を用いた風洞実験等により空力音低減メカニズムの基礎的解明を行うとともに、パンタグラフへ多孔質材を貼付した時の空力音の低減効果を定量的に評価している⁴⁾(図2)。

* 環境工学研究部 部長

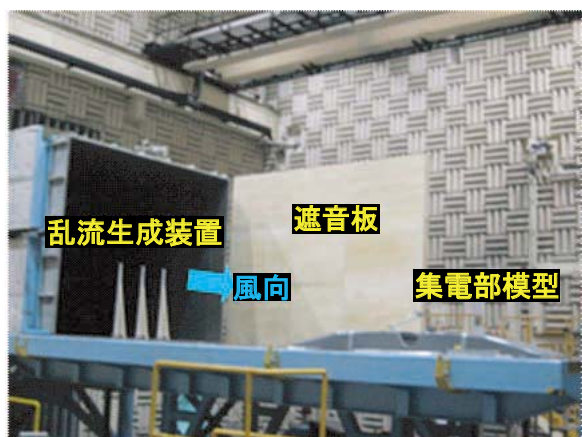


図1 屋根上境界層を模擬した空力音の風洞実験

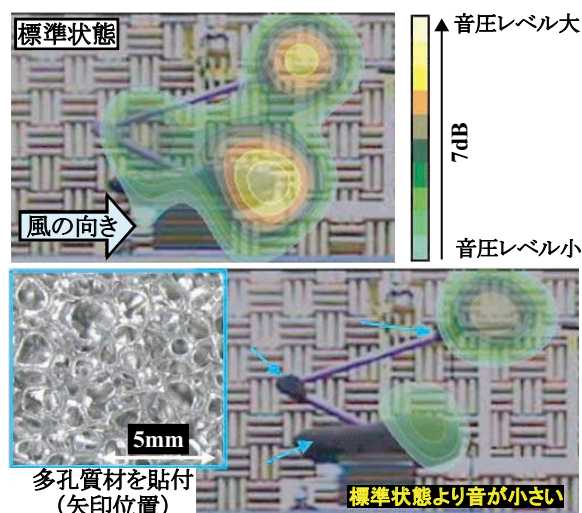


図2 多孔質材によるパンタグラフの空力音低減

2.2 転動音・構造物音

転動音と構造物音は、車輪／レール間で作用する加振力に起因して、車輪、軌道、構造物が振動し、音波が放射される現象である。この加振力の基本的な特性を決定する要因は車輪踏面とレール頭頂面に存在するマイクロオーダーの凹凸と車輪・軌道の振動特性であり、その実

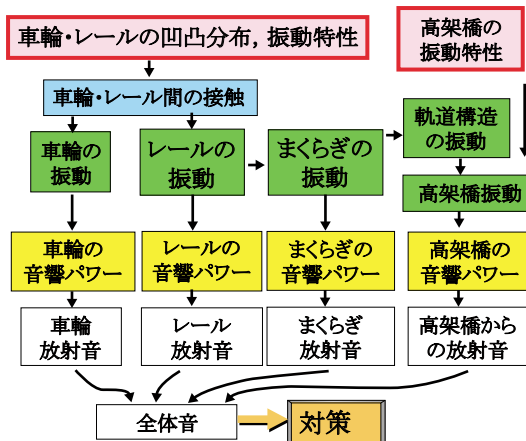
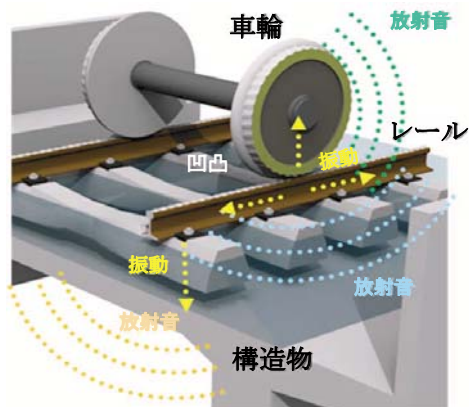


図3 転動音・構造物音予測手法

態調査と評価を行うとともに、そこで得られた知見を元に転動音と構造物音の予測手法を開発した(図3)。さらに、この手法を用いて、車輪転削、レール削正、車輪制振、レールダンパー、低バネ軌道パッドなどの各種対策による転動音、構造物の低減効果の評価を行っている⁵⁾。また、転動音の低減対策として、レール防音材の開発を進めるとともに、鋼橋の構造物音の低減対策として、橋桁用磁性防振材などの開発を進めている⁶⁾。

2.3 鉄道騒音の実用的予測

以上述べたような個々の音源に関する研究の他に、特に実用上の観点から、新線建設時、新型車両導入時、防音壁などの対策実施時などに全体騒音レベルを事前に予測するための研究が重要である。従来は、主として明かり区間の地面付近で観測することを前提として、新幹線及び在来線の騒音予測手法を開発してきたが、近年では、トンネル坑口付近あるいは高層マンションなどの高所空間を対象とした騒音予測手法を開発している⁷⁾。また、住宅密集地では、個々の家屋による反射・遮蔽等の影響を考慮した予測が必要になってきており、そのための研究を進めている⁸⁾。

3. 地盤振動

地盤振動は、場所場所での地盤条件に大きく依存し、現象の予測が難しい。明かり区間で問題となることが多いが、土被りの浅いトンネルの上方で振動問題が発生する場合もある。地盤振動の主たる原因は周波数帯によって異なり、数Hz以下の低周波域では静的軸重の移動、十数Hz以上では動的な軸重変動である。総研では、これら両方のメカニズムを考慮した地盤振動の予測手法を開発している⁹⁾。また、車両軽量化、軌道の低バネ化、地中壁などの種々の地盤振動対策を対象に低減効果の評価を行っている。

4. 低周波音

低周波音（低周波空気振動）は、人間の耳には聞こえにくいおよそ100Hz以下の音を言い、騒音と振動の中間的な現象である。

鉄道における代表的な沿線低周波音の現象として、新幹線トンネルの坑口から発生するトンネル微気圧波がある。これは、列車のトンネル突入時に発生する圧縮波がトンネル内を音速で伝播し、トンネル出口に到達した時に、坑口から外へ放射されるパルス状の圧力波のことで、坑口付近で衝撃音が発生したり、近傍の民家の建具を揺らすなどの影響が現れる場合がある。現在の新幹線では車両側および地上側の両面から対策がとられている。トンネル微気圧波に関しては、トンネル坑口付近の地形の影響を考慮した微気圧波の予測手法の研究を行うとともに、三次元形状列車模型発射装置の開発を進めている¹⁰⁾。また、微気圧波以外にもトンネル内を列車が走行中に、トンネル坑口から振幅の小さな低周波音が連続的に発生するという現象があり、これに関する研究も進めている¹¹⁾。

一方、速度向上とともに明かり区間における低周波音も増大しつつある。明かり区間低周波音の原因は空力音と構造物音の低周波音成分であるが、通常の騒音計では測定できない周波数域であるため、低周波騒音計を用いた現地測定による実態解明や基礎的な発生メカニズムの解明を行っている¹²⁾。

5. 地球環境

鉄道は、他の交通機関と比してエネルギー効率がが高く、地球温暖化防止の観点から優位な立場にあるが、自動車等の燃費向上も著しく、さらなる省エネルギー化が求められている。高速走行する新幹線では、走行抵抗の過半を空気抵抗が占めており、その低減が重要な課題である。中でも、車両床下部分の空気抵抗が大きな抵抗要素となっていることから、移動地面板を用いた風洞実験や模型走行実験を実施して、床下形状と空気抵抗の関係を調べている¹³⁾。

一方、在来線においても、特に切妻車両の先頭部では、流れが大きく剥離し、空気抵抗やトンネル・明かり区間での圧力変動・列車風が増大する傾向にある。この剥離現象の対策に関して、風洞実験や現地試験などを実施した結果（図4）、走行抵抗の大幅な低減が可能であることを確認した¹⁴⁾。得られた成果の一部は最近の在来線車両の設計に反映されている。

本年10月に、名古屋でCOP10（第10回生物多様性条約締約国会議）が開かれるなど、企業活動との関係も含めて生物多様性に対する関心が高まっている。鉄道総研

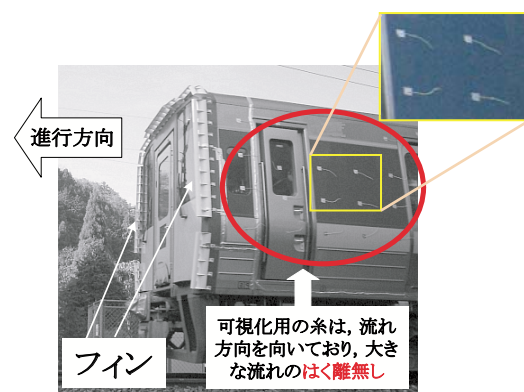


図4 在来線先頭車両の空気抵抗低減に関する試験

では、材料技術研究部を中心に、鉄道と生物多様性との関わりについて検討を行っている¹⁵⁾。

6. 駅環境

駅の衛生環境の向上を図るため、駅構内の「におい」を対象とした研究を行っている。駅の快適性において、においが重要な因子となっていることから、駅空气中に含まれる揮発性物質の分析等を行って、におい評価手法に関する研究を進めている¹⁶⁾（図5）。また、駅シミュレータ内に設置した光ダクトを利用するにおい対策技術についても検討している。

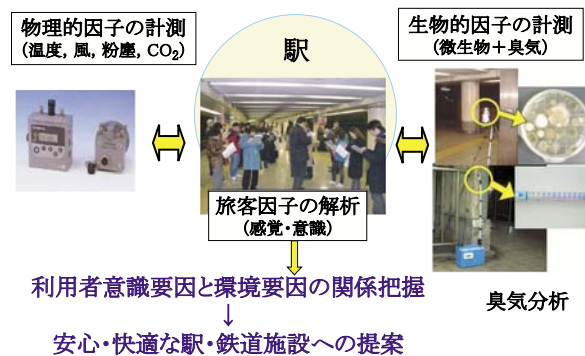


図5 駅の衛生環境・快適性の評価

7. 電磁環境

鉄道では、さまざま電磁界が発生する。定常磁界、極低周波磁界、高周波電磁界の生体影響については、従来より多くの研究がなされているが、300Hz～10MHzの帯域の中間周波の電磁界については、科学的知見が不足しているため、鉄道分野における中間周波電磁界の実態調査および中間周波電磁界の生物学的影響の評価法に関する研究を進めている¹⁷⁾（図6）。また、鉄道環境に存在する定常磁界と変動磁界の複合曝露の影響に関する知見が不足しており、これに関する研究を進めている¹⁸⁾。

特集：環境技術

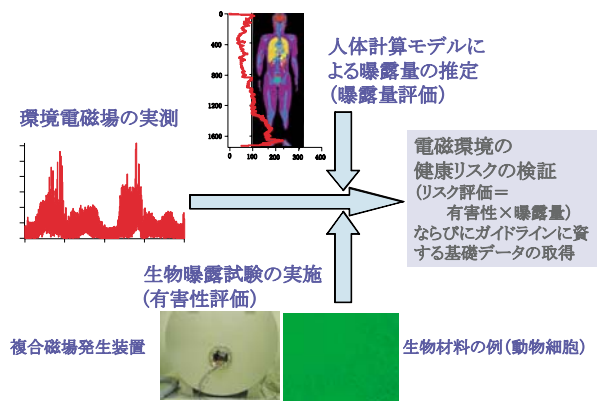


図6 電磁環境の安全性評価

8. おわりに

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あるが、大型重量物である列車が高速で走行するため、環境に様々な影響を及ぼす。速度向上・輸送力増強に際しても、環境負荷を増大させることなく、更に低減することを目標に、技術開発を進めることが必要である。

文献

- 1) 宇田東樹ほか：風洞試験における流れ場の非定常測定と音源構造の推定，鉄道総研報告，Vol.24，No.9，pp.17-22，2010
- 2) 高石武久ほか：乱流境界層下での空力音評価法の開発，日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集，2009.9
- 3) 高石武久，佐川明朗：高周波数域まで予測可能な空力音数値解析手法，鉄道総研報告，Vol.23，No.7，2009
- 4) 末木健之ほか：多孔質材の表面貼付による空力音低減効果と集電装置への応用，鉄道総研報告，Vol.22，No.5，pp.11-16，2008

- 5) 北川敏樹：転動音の特性と軌道・車両に係わるパラメータの影響，鉄道総研報告，Vol.22，No.5，pp.23-28，2008
- 6) 間々田祥吾ほか：遮音機能を有するレール防音材の開発，鉄道総研報告，Vol.21，No.2，pp.27-30，2007
- 7) 長倉清ほか：鉄道沿線における高所空間に適用可能な騒音予測手法，鉄道総研報告，Vol.23，No.7，2009
- 8) 田中慎一郎，小方幸恵，長倉清：住宅密集地における在来鉄道の騒音に関する検討，日本騒音制御工学会2009年度秋期研究発表会講演論文集，pp.125-128，2009.9
- 9) 横山秀史ほか：動的連成解析にもとづく軌道狂いと地盤振動の関係の検討，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，2008.9
- 10) 斎藤英俊，福田傑：列車のトンネル突入時に形成される圧縮波に関する三次元模型実験，第16回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2009) 講演会論文集，2009.12
- 11) K. Kikuchi, et al.: Continuous pressure waves generated by a train running in a tunnel, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol. 28, 2009.
- 12) 高見創，菊地勝浩：明かり区間走行時に生じる高速列車の低周波音分析，鉄道総研報告，Vol.23，No.7，2009
- 13) 井門敦志：風洞実験による車両の空気抵抗低減量の評価，鉄道総研報告，Vol.17，No.11，pp.41-46，2003
- 14) 佐久間豊，井門敦志：在来線車両先頭部における流れのはく離抑制に関する風洞実験，鉄道総研報告，Vol.22，No.5，pp.5-10，2008
- 15) 辻村太郎ほか：生物多様性と鉄道との関わりを考える，RRR，Vol.66，No.12，pp.30-33，2009
- 16) 京谷隆ほか：駅構内等においてに関する揮発性物質分析手法，鉄道総研報告，Vol.23，No.7，pp.29-32，2009
- 17) 池畑政輝ほか：微生物を用いた中間周波磁界の変異原性評価，鉄道総研報告，Vol.22，No.5，pp.41-45，2008
- 18) 池畑政輝ほか：静磁場と変動磁場の同時曝露による生体影響評価手法，鉄道総研報告，Vol.20，No.1，pp.35-40，2006