

鉄道沿線の環境対策

前田 達夫*

1. はじめに

環境問題は21世紀の重要な課題であり、鉄道においても、環境に対する負荷を小さくし、その緩和・低減を図ることが社会から求められている。鉄道が環境に与える負荷には、鉄道開業以来の課題である沿線の騒音、地盤振動をはじめとして、トンネル微気圧波、列車通過時の圧力変動などの低周波音問題、車内の静粛性、快適性に対する環境問題、車内および沿線の電磁環境問題、沿線の雑草問題、駅構内の衛生面に対する環境問題、ごみ・汚水処理の問題など、多岐にわたる課題がある。ここでは、主に鉄道沿線の環境問題とその対策について紹介する。

2. 沿線騒音

新幹線騒音は、①集電系騒音（空力騒音、スパーク音）、②車両上部空力騒音（先頭部空力音を含む）、③車両下部騒音（転動騒音、ギヤ騒音、空力騒音）、④構造物騒音の4つの音源に分類することができる。新幹線騒音の低減をはかるためには、沿線騒音に対する音源別寄与を明らかにし、寄与度の高い騒音源から低減をはかっていく必要がある。

新幹線騒音については、1975年に環境庁（現、環境省）から、環境基準と達成目標期間に関する告示が出され、環境基準は、主として住居の用に供される地域類型Ⅰでは70 dB(A)以下、商工業の用に供される地域等、地域類型Ⅰ以外の地域にあって、通常的生活を保全する必要がある地域類型Ⅱでは75 dB(A)以下とされた。これをうけて、当時の国鉄、その後のJRは、多くの騒音低減対策を実施し、新幹線の高速化を実現してきた。例として、東海道新幹線の騒音と低減対策の変遷を図-1に示す。図-1における地上条件は、コンクリート高架橋（高さ8m）、バラスト軌道、直立型防音壁（高さ1.2m）、騒音レベル評価点は、近接側軌道中心から25m離れ、地上高さ1.2mである。ここで、図-1の棒グラフで示された騒音のエネルギーは、当該列車の騒音ピークレベル値を示し、騒音レベル評価値は、環

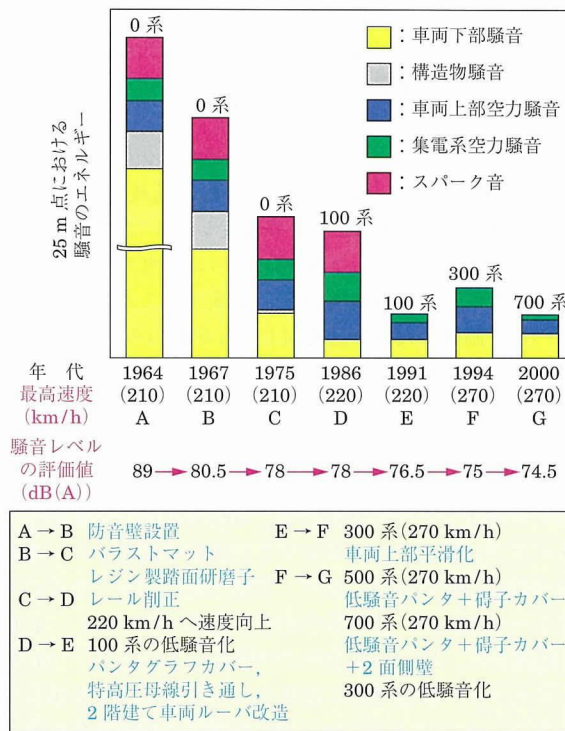


図-1 新幹線騒音と低減対策の変遷（東海道新幹線）

境省の新幹線騒音の測定法および評価法に基づいた環境基準の評価値を示す。すなわち、上りおよび下りの列車を合わせて連続する20本の列車について、当該列車ごとに騒音ピークレベルを読み取り、レベルの大きさが上位半数のものをパワー平均したものに相当する。したがって、その値は、その時代に運行されている新幹線車両の種別と列車ダイヤに依存している。

1964年の開業当時は、防音壁がなく、0系車両が210 km/hで走行した時の騒音レベル評価値は90 dB(A)に近い値であった。1964年から1967年にかけて沿線全域に防音壁が設置され、80～82 dB(A)程度となった。1971年頃、バラストマットが導入され、構造物騒音の音源パワーが8 dB(A)程度低減されたが、構造物騒音の寄与が小さく、他の騒音が大きいため、騒音レベルの大幅な低減には結びつかなかった。1973年頃、铸铁製踏面研磨子からレジン製踏面研磨子に交換したところ、車輪踏面の波状凹凸（コルゲーション）の発生が押さえられ、転動騒音の音源パワーが4 dB(A)程度低減され、騒音レベル評価値は78 dB(A)程度になった。1983年頃からレールの削正が実施され、転動騒音の音源パワーが5 dB(A)程度低減した。そのため、1986年に220 km/hへの速度向上が行われたが、騒音レベ



* Tatsuo MAEDA
 (財)鉄道総合技術研究所 環境工学
 研究部長

ル評価値は 210 km/h のレール削正前とほとんど変わらず、78 dB(A)程度であった。転動騒音の対策が実施された結果、集電系騒音が突出するようになり、1988 年から 100 系車両に対してパンタカバー対策が施され、集電系空力音の音源パワーが 5 dB(A)程度低減した。1990 年頃から 200 系車両において効果を上げていた複数のパンタグラフを電氣的につなぐ特高圧母線引き通し対策が 100 系車両に対しても行われ、スパーク音がなくなり、パンタグラフの数の減少も可能となった。また、2 階建て車両のルーバ構造から発生する空力音対策のためルーバの改良が行われた。これらの対策に加え、0 系車両と 100 系車両の入れ替えも進み、騒音レベル評価値は 75 ～ 76 dB(A)となった。1992 年に登場した 300 系車両では、屋根上がケーブルヘッドを除いてほぼ平滑にされ、車両上部空力音が大幅に低減されたため、300 系車両の 270 km/h 走行での騒音レベルは 75 ～ 76 dB(A)となった。そして、0 系車両にパンタカバーの対策が実施されたこと、0 系車両の割合が減ったこともあり、騒音レベル評価値は大幅な速度向上にもかかわらず 75 dB(A)程度まで低減された。1997 年に登場した 500 系車両、1999 年に登場した 700 系車両では、特高圧母線の直ジョイント化により、ケーブルヘッドが撤去され、車両上部の平滑化が更に進んだ。また、500 系車両では、低騒音パンタグラフおよび碍子カバーが採用され、700 系車両では低騒音パンタグラフ、碍子カバーおよび 2 面側壁が採用され、営業開始当時の 300 系車両に比べ、車両上部空力音の音源パワーは 3 ～ 4 dB(A)、集電系空力音の音源パワーは 1 ～ 4 dB(A)低減され、270 km/h 走行での騒音レベルは 73 ～ 74 dB(A)となった。新型車両に適用された技術は 300 系車両に対してフィードバックされ、300 系車両の低騒音化も進んでおり、東海道新幹線における車両の入れ替わりも進み、騒音レベルの高い 0 系車両が退いたので、現在、騒音レベル評価値は 74 ～ 75 dB(A)程度まで低減されている。

図 - 1 に示すように、これまで多くの低減対策法が開発され、実施されてきたが、今後は、車両下部騒音、車両上部空力騒音、集電系空力騒音の低減が課題である¹⁾。

在来線騒音は、新幹線に比べて速度が低いため、空力騒音の寄与は小さく、①転動騒音、②駆動系騒音、③構造物騒音の 3 つの音源に分類することができる。

在来線騒音については、1995 年に環境庁（現、環境省）が、「在来鉄道の新設または大規模改良に際しての騒音対策の指針」を定めた。指針では、「新線については、等価騒音レベル L_{Aeq} として昼間（7 時から 22 時）については 60 dB 以下、夜間（22 時から翌日 7 時）については 55 dB 以下とする。なお、住居専用地域等住居環境を保護すべき地域にあっては、一層の努力に努めること」、「大規模改良線にあっては、騒音レベルの状況を改良前より改善すること」とされた。新幹線のみならず、在来線に対しても、騒音低減を求める社会の要求が高まっており、在来線では、最近の新製電車においては車両機器の低騒音化が進められており、今後、転動音と構造物騒音の低減が課題である²⁾。

鉄道騒音の低減をはかるためには、沿線騒音に対する音源別寄与を明かにするとともに、音源別騒音の発生メカニ

ズムを明らかにし、有効な対策を講じる必要がある。また、防音壁など騒音の伝搬系対策も有効である。

鉄道総研では、鉄道騒音の低減をさらにはかるために、以下の研究を継続している。

空力騒音の発生メカニズムを解明するために、1986 年に米原に大型低騒音風洞を建設し、空力騒音の解明と低減対策のための風洞試験を精力的に行っている³⁾。図 - 2 に風洞試験による音源探査の様子を示す。また、数値シミュレーションによる空力音源分布の解明も進めている。

転動音の解明のために、レールおよび車輪の凹凸と転動音の関連を現車試験により明かにし、さらにレールおよび車輪の形状の振動特性、音響放射特性に関する解析を定置試験および数値シミュレーションにより進めている⁴⁾。

その他、構造物騒音対策、騒音伝播系対策に関する研究も進めている。

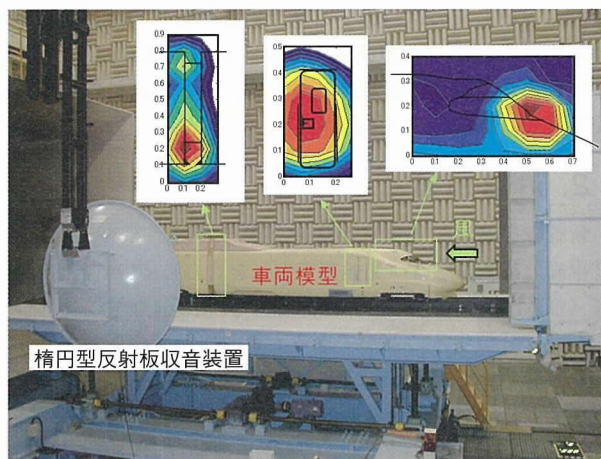


図 - 2 風洞試験による空力騒音源の探査

3. 地盤振動

新幹線の地盤振動については、1976 年に環境庁（現、環境省）から、「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について」という勧告が出され、「新幹線鉄道振動の補正加速度レベルが 70 dB を超える地域について緊急に振動源及び障害防止対策などを講ずること」「病院、学校その他特に静穏の保持を要する施設の存する地域については、特段の配慮をするとともに、可及的速やかに措置すること」とされた。

これまでの振動対策の事例と研究開発の変遷を図 - 3 に示す。車両対策としては、車両軽量化、軌道対策としては、軌道の低ばね係数化（低ばねレール締結装置、防振マクラギ、防振直結軌道、有道床弾性マクラギ、バラストマットなど）、軌道の高剛性化、路盤改良、地盤対策としては、地中溝・地中壁による振動遮断、地盤改良などが考えられる。地盤振動対策は、基礎研究の段階から実用化された対策までさまざまであるが（図 - 4）、今後、更に各種振動対策の研究開発を進め、振動対策に関するマニュアルを整備する予定である⁵⁾。

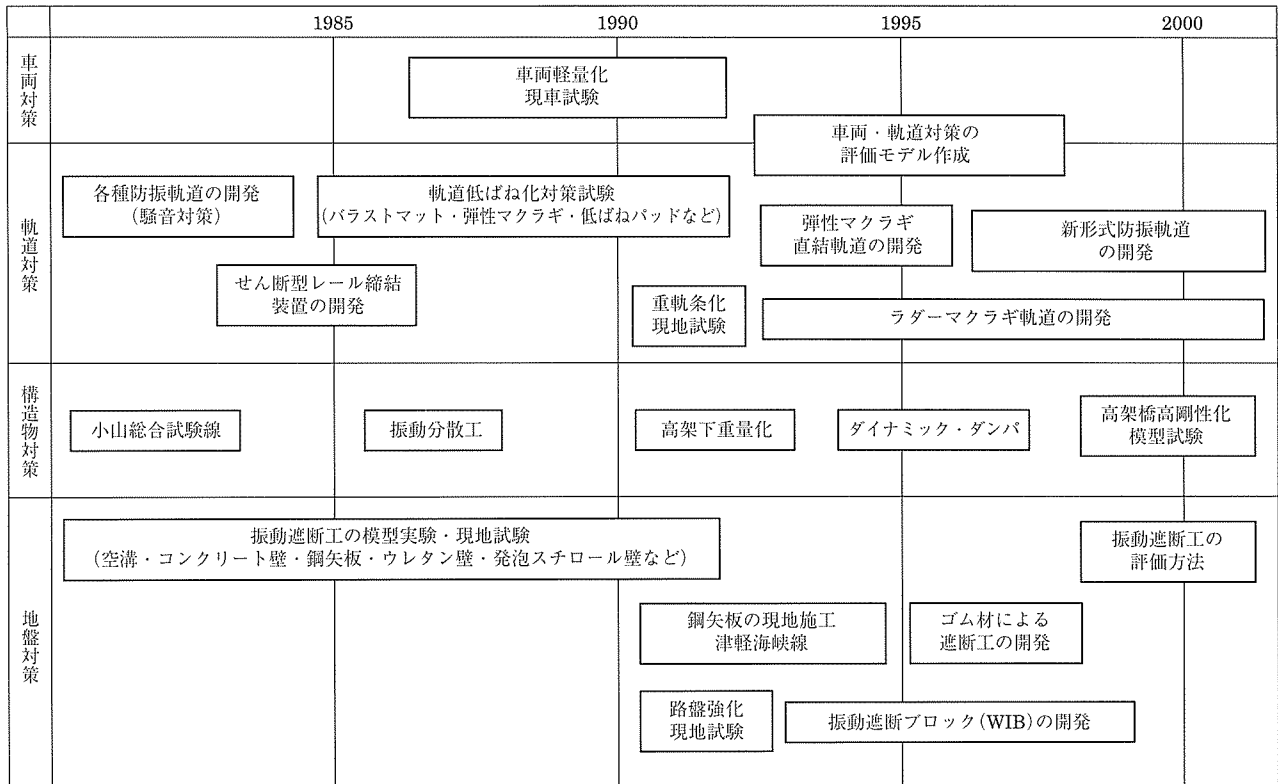


図 - 3 振動対策の事例と研究開発の変遷

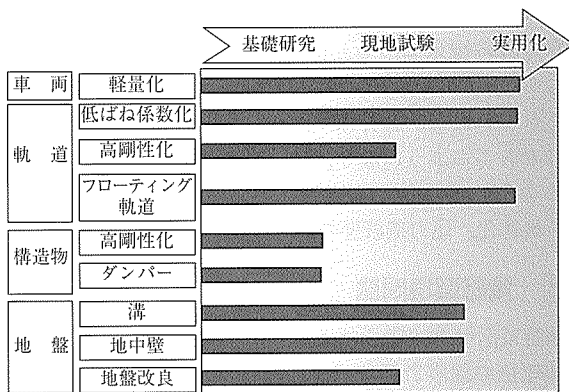


図 - 4 地盤振動対策とその開発状況

4. 低周波音

鉄道の低周波音問題には、トンネル坑口から放射されるトンネル微気圧波、突入波、退出波、枝坑通過波、退出時微気圧波と明かり区間における列車通過時の圧力変動の問題がある。明かり区間における列車通過時の圧力変動は波動現象ではないが、沿線の家屋の窓や戸を揺らすことから、低周波音問題に分類されている。低周波音に関する環境基準あるいは指針は定められていないが、2000年に環境省によって「低周波音の測定方法に関するマニュアル」が取りまとめられている。マニュアルでは、感覚および睡眠への影響に対してはG特性音圧レベルで、圧迫感・振動感および建具のがたつきに関しては1/3オクターブバンド音圧レベルで評価することとしている。しかしながら、トンネル微気圧波、突入波、退出波、枝坑通過波、退出時微気圧波

および列車通過時の圧力変動は、通常の連続的な低周波音とは異なり、パルス状の圧力変化であるため、今後、評価については更に検討が必要である。

4.1 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時に発生する圧縮波がトンネル内を音速で伝搬し、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で、坑口付近で発破音を生じたり、民家の窓を揺らすことがある(図-5)。トンネル微気圧波は、1975年の山陽新幹線博多開業のための訓練運転を契機に、スラブ軌道の長大トンネル坑口で顕在化し、それ以来、現象の解明と低減対策の研究が行われている。トンネル微気圧波の大きさは、トンネル坑口に到達した圧縮波の波面の圧力勾配にほぼ比例する。トンネル微気圧波が、スラブ軌道を採用した山陽新幹線の岡山以西で顕在化したのは、スラブ軌道の長大トンネルでは、バラスト軌道に比べて、圧縮波の波面の減衰効果が小さく、波面の圧力勾配が切り立ってくるためであった。トンネル微気圧波の低減対策の考え方は、トンネル坑口に到達する圧縮波の波面の圧力勾配を小さくすることであり、

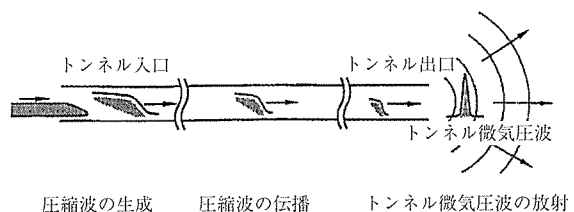


図 - 5 トンネル微気圧波

地上側対策として、トンネル入口緩衝工による対策(図-6)、斜坑・縦坑を圧縮波のバイパスとして利用する対策、隣り合うトンネルをスリット付きシェルターでつなぎ、圧縮波を逃がす対策が実用化されている。トンネル入口緩衝工は、トンネル入口ではじめから圧縮波の圧力勾配を小さくする対策で、標準的なトンネル入口緩衝工は、トンネル本坑より断面積が大きく、側面に開口部が設けられている。山陽新幹線では約100坑口、東北新幹線では約45坑口、長野新幹線では約30坑口、九州新幹線では約90坑口に設置されている⁶⁾。また、トンネル入口ではじめから圧縮波の圧力勾配を小さくする車両側対策として、車両断面積の縮小、先頭部形状の最適化による対策があり、E1、E2、E3、E4、500、700、800系新幹線車両の先頭部形状は微気圧波低減対策を考慮した形状となっている(図-7)⁷⁾。近年、東北新幹線盛岡以北の約26kmの長大スラブ軌道トンネルにおいて、トンネル中を伝搬する圧縮波の波面の変形に関する測定が行われ、列車が高速で突入する時、圧縮波の波面の圧力勾配は、はじめ切り立っていくが、その後、減衰していくという興味深い結果が得られ、数値シミュレーションによりその現象が再現できることが明らかとなっている⁸⁾。

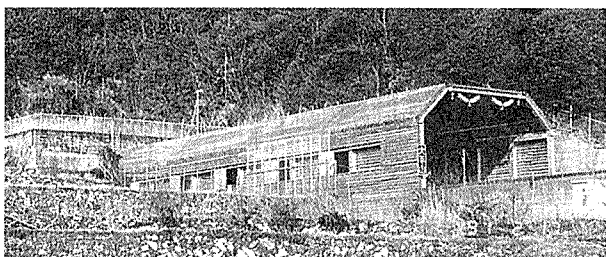


図-6 トンネル入口緩衝工

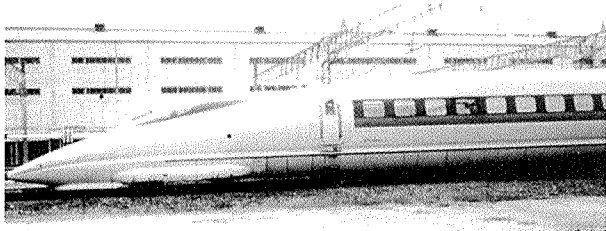


図-7 先頭部形状最適化 500系(JR西日本)

4.2 トンネル突入波、トンネル退出波、枝坑通過波、退出時トンネル微気圧波

新幹線の高速化に伴い、トンネル微気圧波のみならず、トンネル突入波、トンネル退出波、枝坑通過波、退出時トンネル微気圧波が、目立つようになり、環境問題を引き起こす要因となりつつある。トンネル突入波は、トンネル入口で、先頭部突入時に負のパルス、後尾部突入時に正のパルスの圧力波を生じる。トンネル退出波は、トンネル出口で、先頭部退出時に負のパルス、後尾部退出時に正のパルスの圧力波を生じる⁹⁾。枝坑通過波は、列車がトンネル内の枝坑際を通過するときに生じた圧力波がトンネル両坑口に向かって伝播し、坑口に到達したときに坑口から放射される圧力波である¹⁰⁾。また、退出時微気圧波は、列車の先頭

部がトンネル出口を退出するときに生じた圧縮波がトンネル入口に向かって伝搬し、トンネル入口に到達したときに外部に放射されるトンネル微気圧波である。トンネル突入波、トンネル退出波は、トンネル微気圧波、退出時トンネル微気圧波、枝坑通過波に比べ、指向性が顕著である。

トンネル突入波、退出波の低減対策の考え方は、列車が通過する側のトンネル入口緩衝工側面形状あるいはトンネル入口形状と列車先頭部形状を工夫し、列車通過時の列車とトンネル緩衝工、トンネル入口との空気力学的干渉を小さくすることであり、列車先頭部形状の最適化、トンネル入口緩衝工の側面壁の延伸、トンネル入口緩衝工の側面開口部の最適化、トンネル入口への側面壁の設置が考えられる。枝坑通過波の低減対策としては、列車先頭部形状の最適化、枝坑の扉による閉鎖、枝坑入口形状の最適化などが考えられる。ただし、枝坑は、トンネル内を伝搬する圧縮波のバイパスとなり、トンネル微気圧波に対して低減効果を有するので、その効果も考慮して、総合的に対策を検討する必要がある。

4.3 列車通過時の圧力変動

列車通過時の圧力変動は、走行する列車の先頭部と後尾部に生じる車体表面の圧力分布が列車とともに移動することによって生じる現象で、先頭通過時に正負のパルス状の圧力変動、後尾部通過時に負正のパルス状の圧力変動を引き起こす。この現象は、トンネル微気圧波のような波動現象ではなく、列車からの距離の2乗に逆比例して減衰する列車近傍の現象である。従来、列車通過時の圧力変動は、すれちがいの対向列車に対する乗り心地の問題として考えられていたが、新幹線の高速化に伴って、その影響が沿線にもおよぶようになり、低周波音境問題の一つに分類されるようになった。対策としては、列車先頭部形状の延伸・最適化、圧力遮蔽壁の設置などが考えられる¹¹⁾。

5. 電磁環境問題

携帯電話やIH(電磁誘導加熱)家電製品の普及に伴って、電磁環境の健康影響に対する関心が高まっており、現在、世界保健機構(WHO)では、健康影響についての知見の見直しを進めている。鉄道においても、電磁環境に対する安全性評価手法を確立するために、電磁環境の実態把握、人体暴露量の推定、生物学的影響の評価に関する研究を進めている。これまで鉄道総研では、生物学的影響の評価については、定常強磁場、単独の変動磁場に対する影響を評価してきたが、それらの影響は、紫外線やディーゼル排ガス・たばこに含まれる化学発癌物質に比べると小さいことがわかった。鉄道車両の磁場は、空間的、時間的に大きく変動し、複数の周波数帯の磁場を含むが、このような状況における生物学的影響に関する知見は未だわずかであり、今後、極低周波から中間周波域の電磁場の複合暴露に関する研究を進める予定である¹²⁾。

6. 沿線の雑草問題

鉄道沿線は日当たりが良いため、雑草が繁茂しやすく、それが保線作業の妨げ、見通しの低下、病虫害の発生の原

因ともなる。このような状況を防ぐためには、雑草の適切な管理が必要であり、現在、効果的かつ低コストで無害な雑草防除技術の開発を進めている¹³⁾。

7. 鉄道施設の衛生

近年、鉄道利用者の衛生面、清潔さ、快適性に関する関心は、車内のみならず、駅構内にも広がりつつある。そこで、駅構内の快適性の向上を目指して、駅構内の衛生に関する利用者の意識調査と衛生にかかわる生物・物理的要因の調査を行い、実態の把握を行った。

8. おわりに

鉄道は、他の交通機関に比べて、地球環境に対して優れた交通機関であるが、高速化、輸送力の増強に際しても、騒音、振動、低周波音などの環境負荷を増大させることなく、さらに、緩和・低減をはかることを目標に、研究を進める所存である。そして、車内の静粛性、快適性に対する環境問題、車内および沿線の電磁環境問題、沿線の雑草問題、駅構内の衛生面に対する環境問題、ごみ・汚水処理の問題についても環境負荷の低減をはかり、沿線住民、鉄道利用者にも快適で地球環境に優れた鉄道の実現をはかっていきたいと考える。

参考文献

- 1) 長倉清, 善田康雄: 新幹線沿線騒音予測手法, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, 2000
- 2) 北川敏樹, 長倉清, 緒方正剛: 在来鉄道における騒音予測方法, 鉄道総研報告, Vol.12, No.12, 2002
- 3) 高石武久, 善田康雄, 清水康弘: 鏡像法模型を用いた車両空力音の研究, 鉄道総研報告, Vol.13, No.12, 1999
- 4) 善田康雄, 田中慎一郎, 長倉清, 小原孝則, 佐藤潔, 南秀樹: 転動音に及ぼすレール・車輪凹凸と車輪形状の影響, 鉄道総研報告, Vol.18, No.11, 2004
- 5) 芦谷公稔, 横山秀史: 地盤振動対策の研究開発の現状, 鉄道総研報告, Vol.16, No.12, 2002
- 6) 小澤智: トンネル出口微気圧波の研究, 鉄道技術研究報告, No.1121, 1979
- 7) Maeda T., Matsumura T., Iida M., Nakatani K., Uchida K.: Effect of Shape of Train Nose on Compression Wave Generated by Train Entering Tunnel, International Conference on Speedup Technology for Railway and Maglev Vehicles, JSME, Yokohama, Japan, 1993
- 8) 福田傑, 飯田雅宣, 鷹崎徹, 佐久間豊, 菊地勝浩, 村田香, 若林雄介, 小澤智: 長大スラブ軌道トンネルにおける圧縮波の伝搬, 鉄道総研報告, Vol.18, No.11, 2004
- 9) 飯田雅宣, 田中靖幸, 菊地勝浩, 福田傑: 列車のトンネル突入・退出時に坑口から放射される圧力波, 鉄道総研報告 Vol.14, No.9, 2000
- 10) 福田傑, 飯田雅宣, 村田香: トンネル内枝坑による微気圧波の低減と枝坑通過波の形成, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, 2000
- 11) 菊地勝浩, 山内伸亮, 吉田康夫, 中西正利, 高橋亮一, 田中靖幸, 飯田雅宣: 明かり区間における列車通過時圧力変動の低減法, 鉄道総研報告 Vol.14, No.9, 2000
- 12) 池畑政輝, 多氣昌生, 岩坂正和: 運輸システムにおける電磁環境の安全性評価手法に関する基礎研究, 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 - 運輸分野における基礎的研究推進制度 - 平成 16 年度研究終了課題研究成果報告書, 2005
- 13) 早川敏雄: 鉄道沿線における雑草制御技術, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, 2003

【2005年10月20日受付】