

# 鉄道ネットワークの維持発展

西江 勇二

研究開発推進室  
(担当部長 将来指向課題リーダー)

飯田 雅宣

環境工学研究部  
(部長)

鈴木 浩明

人間科学研究部  
(部長)

土屋 隆司

輸送情報技術研究部  
(部長)



にしえ ゆうじ



すずき ひろあき



いいだ まさのぶ



つちや りゅうじ

## はじめに

低炭素社会に向けて鉄道の環境性能の高さに対する再評価がある一方、少子高齢化の進展という構造的な問題などによる鉄道利用者の減少も危惧されています。そこで、鉄道の利便性・快適性をさらに向上させるとともに、高速化に伴う沿線環境負荷を抑制することを目的として、「鉄道ネットワークの維持発展」を基本計画RESEARCH2010における将来指向課題の一つとして設定しました(図1)。具

体的には、より高品位な車内快適性の実現に向けた「車内快適性の評価・対策」、振動・騒音に関する「高速化のための沿線環境の評価・対策」、そして利便性の向上に向けた「交通結節点における移動円滑化」という3つの課題に取り組むことにより、鉄道ネットワーク全体の価値向上を図り、鉄道の競争力強化を目指します。さらに、研究開発に当たっては、個別技術のインテグレーションや、国際規格化を視野に入れた技術の標準化に留意して推進します。

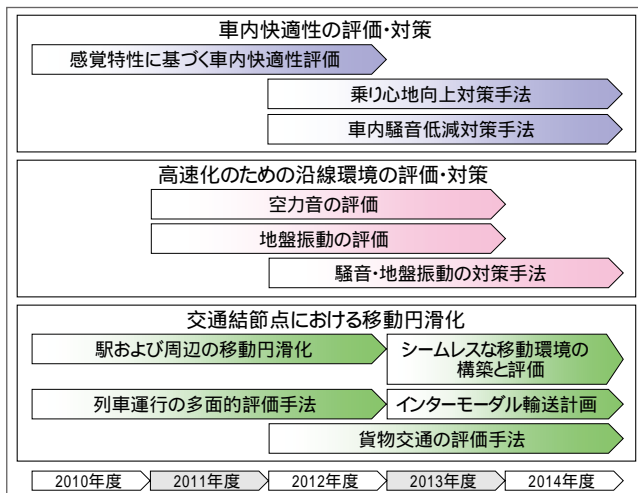


図1 「鉄道ネットワークの維持発展」全体計画

## 車内快適性の評価・対策

乗客の視点に立った車内快適性の評価

鉄道の魅力をさらに高め一層の需要喚起を図るために、車内環境の快適性向上に関する課題に取り組めます。快適性に影響する要因は、振動、音、温熱、空気などの物理要因から、座席の座り心地や乗務員の接客などまで様々ですが、この課題では振動と騒音をターゲットとします。乗客の視点に立って、評価法と改善のための具体策を提案するのが目的です。

快適性の評価は、振動や音の物理的強度だけでなく、その時点における乗客の「期待値」に影響されます。振動や騒音の制御技術や座席の製造技術などの向上に伴い、乗客の期待値も増します。また、時代の変化に伴い、新たな視点からの物差しが必要になる場合

もあります。このため、まずは乗客の体感に合った新しい振動・騒音の評価法の確立を目指します(図2)。

周波数が異なると、同じ大きさの振動であっても、人は異なる大きさを感じてしまう特性があります。例えば、上下(垂直)振動の場合、人の感度が最も高いのは4~8Hzの範囲で、それより周波数が高くても低くても人の感度は低下します。このため、人の感じ方に合わせて物理的な振動の大きさを補正し、評価に用いる「乗り心地レベ

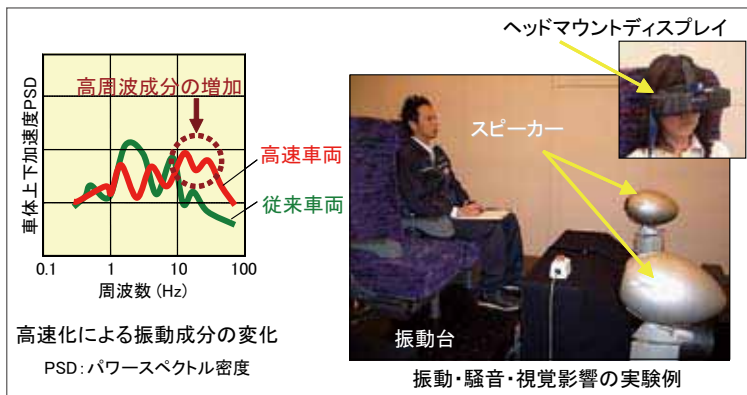


図2 高速化に伴う高周波成分の増加と被験者実験のイメージ例

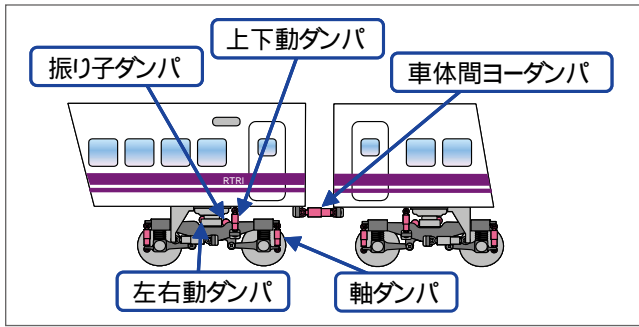


図3 複数モードの同時振動低減対策の検討対象例

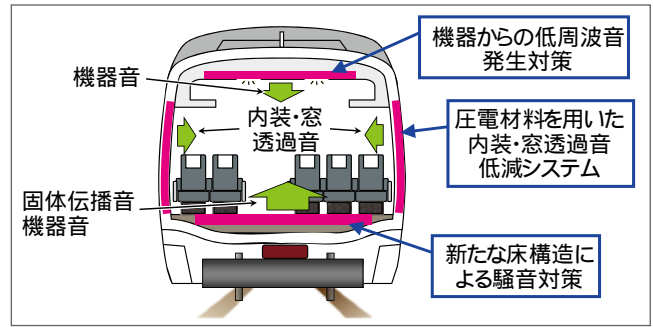


図4 乗客の聴感特性に基づく新たな騒音低減手法の提案

ル」という指標が1980年に提案され、利用されてきました。一方、最近の列車の高速化に伴い、20Hz以上の高周波振動成分の割合が増える傾向にあります。しかし、乗り心地レベルでは、8Hz以上の振動成分の影響を相対的に減じてしまうため、実際には存在していてもレベルの算出値にほとんど反映されません。その結果、乗客の体感と一致しないとの指摘が増えてきました。このため、乗り心地レベルの周波数補正曲線(体感補正フィルター)の形状を見直し、より乗客の体感と合う指標の開発を進めます。その際、高周波側だけでなく、低周波側においても現状のフィルターが最良かどうかを検討します。

鉄道は比較的酔いにくい乗り物とされていますが、低周波振動に起因する酔いが時に問題となります。これまでの研究から、0.25～0.32Hz程度の緩やかな左右振動が列車酔いの発生に影響しやすいことがわかっており、この周波数域の振動をできるだけ抑えるための研究開発も進められてきました。一方、加速や減速の際に生じる前後方向の低周波振動が列車酔いに及ぼす影響はまだ明確でなく、左右と前後振動の相互影響も不明です。これらを明らかにし、評価指標として提案するための研究に取り組みます。

沿線居住者にとっての騒音問題と異なり、車内の音環境については、明確な評価指標がありません。振動と同じように、音の周波数が異なると人の知覚する大きさは異なるため、物理的な音圧を体感に合わせて補正する「A特性」フィルターを用いて騒音レベル値を算出するのが一般的です。しかし、この手法が車内音の評価にも最適かどうかは検証されていません。自動車分野では音質も含めた車内音評価が行われていますが、鉄道でも新たな評価手法の研究開発に取り組みます。

#### 振動・騒音環境の改善に向けた具体的な対策

このような新たな評価指標がまとまると、次にそれらの改善に向けた具体的な対策の提案に軸足を移します。

振動については、従来は左右や上下など車両の運動モードごとに最適な振動低減手法が提案されてきましたが、ここでは各運動モード間の相互影響を考慮した振動低減策を

扱います(図3)。たとえば、最近の新幹線では車体の弾性振動を低減するために、車体支持装置の上下支持剛性や減衰を小さくする傾向があります。その結果、車体のロール振動や低周波の上下振動が目立ちやすくなる傾向があります。そこで、これらの振動を同時に低減するために有効な技術を開発し、包括的な乗り心地向上を実現します。また、車体傾斜制御と振動制御を連携させることにより、振り式車両のロールと左右振動を低減させる方策について研究します。

また、車内騒音については、乗客にとってより不快と感じられる音が特定され、感覚特性に基づく車内音の評価指標が提案されることを受け、音源や伝播経路に対して効果的な対策となる騒音低減手法の提案を目指します(図4)。台車からの固体伝播音、車両搭載機器発生音、ドアからの侵入音などへの対策手法については、まだ検討の余地が大きいため、従来の対策法に加え、現在開発を進めている騒音低減システムの適用など、新たな手法の導入が必要と考えています。たとえば、換気および空調装置などからの低周波音対策、圧電材料を用いた内装・窓透過音の低減システム、床板を小面積に分割し振動絶縁効果を向上した個別支持方式の床構造の採用などが考えられます。

### 高速化のための沿線環境の評価・対策

#### 高速化と沿線環境

鉄道的高速化に際しては、沿線環境の悪化を招かないようにすることが求められます。鉄道の沿線環境の評価・対策に関しては、これまでにも広範な研究開発が行われ、それらの成果が現在の鉄道に活かされています。しかし、今後さらなる高速化を進めるためには、沿線環境の予測・評価技術および対策技術の向上を目的として、より研究開発を深度化していくことが必要です。

鉄道の沿線環境に係る項目は、騒音、振動、低周波音、電磁波など多岐にわたります。また、騒音を例にとると、その音源は、転動音、構造物音、空力音、摺動音、スパーク音、機器音など多くの要素から成っています。この

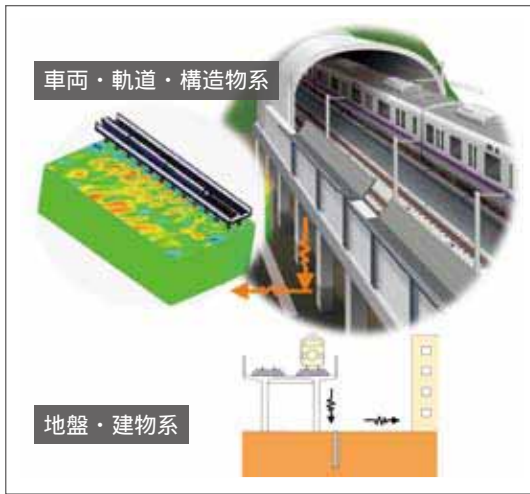


図5 地盤振動予測シミュレーション

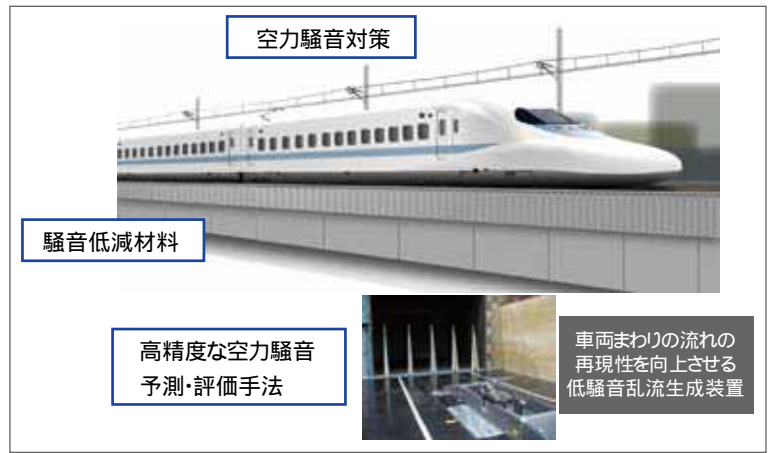


図6 空力騒音評価手法と低減対策

ように沿線環境には広範な課題がありますが、今後の新幹線360km/h化および在来線160km/h化をターゲットとして見た時には、地盤振動と騒音の低減が重要度の高い課題になるものと考えられます。そこで、高速化のための沿線環境の評価・対策に関する課題として、地盤振動の予測技術、空力騒音の評価・対策技術、材料技術の騒音・振動対策への適用の3つの分野に取り組むこととしました。

#### 地盤振動の予測シミュレーション手法

地盤振動に関しては、標準的な条件における地盤や建物の振動予測は、現在でもある程度可能となっています。しかし、今後の速度向上などを考慮すると、予測精度の向上と適用範囲の拡大が必要です。また事前予測や対策検討のためのツールとして整備していくことも求められています。そこで、現地測定などによる基礎データの収集、車両・軌道・構造物系の動的解析による起振力予測、地盤・建物への伝播予測、影響要因の解明とモデル化の各研究項目を実施し、それらの結果を総合して、地盤振動予測シミュレーション手法を開発します(図5)。

#### 空力騒音の実験的評価手法と低減対策

現在、空力騒音の定量的評価は、主に、風洞試験や音源探査による音源解析と沿線受音点における環境測定を組み合わせることによって行っていますが、高速化に伴い騒音全体に占める空力騒音の寄与が増大するため、評価精度の向上が課題となっています。そこで、風洞試験における実物車両まわりの流れの再現性を向上させ、また音源解析で得られる音源の指向特性・周波数特性の情報をより正確に沿線騒音評価に反映させることにより、空力騒音の実験的評価手法の改善に取り組む予定です。さらに、空力騒音の低減技術として、これまで開発を進めてきた多孔質材を利用する対策の実用化を進めるとともに、流れ場制御などを活用した新しい空力騒音低減法の研究を進めます(図6)。

#### 材料技術を活用した騒音・振動対策

騒音・振動の対策規模は、高速化とともにますます大きくなるため、より効果的で経済的な対策が求められています。そこで、材料技術の観点から新しい騒音・振動対策技術の開発に取り組む予定です。具体的には、構造物の強度的制約を緩和して高速化への対応を可能とする新型防音壁などの騒音対策技術、新素材を利用して低ばね化を可能とする振動対策技術などに関する研究開発を進めます。

#### 交通結節点における移動円滑化

##### 移動円滑化

鉄道は、駅から駅への移動手段を提供していますが、本来の経路全体の移動(ドア・ツー・ドアの移動)には、他の交通モードとの連携が不可欠です。また、鉄道内で移動する場合も、多くの場合に乗り継ぎが発生します。このような交通結節点における移動を円滑にすることは、鉄道利用の促進に寄与するだけでなく、結果的に環境負荷の低減にもつながると考えられます。ここでは、階段による上下移動、改札口などの狭隘部の通過、駅コンコースやホーム上の混雑など、移動の妨げ、あるいは身体的・心理的負担の原因となるものやその負担の度合のことを“移動抵抗”と呼ぶことにします。本課題では、交通結節点における移動抵抗を低減し、よりシームレスな移動環境の構築を目指しています。具体的には、「駅および周辺における旅客分布推計手法」、「駅における移動抵抗低減と乗り継ぎ利便性の向上」、および「列車運行に対する多面的な評価手法」について検討を進めています。

##### 駅および周辺における旅客分布推計手法

交通結節点における移動円滑化のためには、駅の利用状況や移動抵抗を適切に評価することが不可欠です。そこで、各種の流動センシング技術の中から、最近急速に設置が進

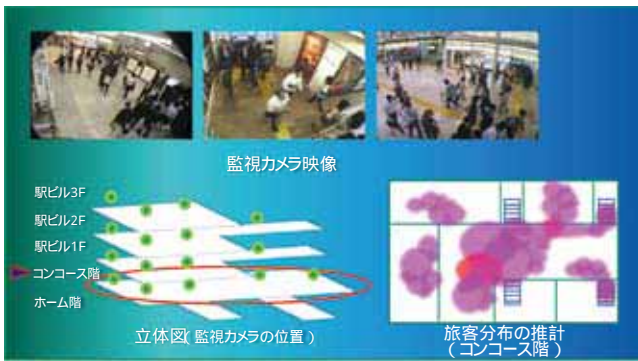


図7 監視カメラの映像に基づく旅客分布推計のイメージ

んでいる監視カメラに着目し、その画像解析によって、駅全体の旅客分布の把握や流動の予測を行うことを目指しています(図7)。監視カメラだけでは駅の全域の状況を漏れなく把握できる訳ではなく、死角となるエリアの旅客分布を撮影画像に基づいて推定する必要があります。そこで、監視カメラの部分映像を駅全体に拡張するためのモデルとアルゴリズムの検討を行っています。

このような技術が確立すれば、駅全体の混雑状況の提示による旅客の駅構内における移動経路選択の支援が可能となり、旅客の移動抵抗の低減につながるものと期待されます。また、火災などの避難誘導時には、初期状態の旅客の分布を迅速に把握することにより、的確な避難誘導が可能となります。

#### 駅における移動抵抗低減と乗り継ぎ利便性の向上

本研究では、移動抵抗の低い駅空間の構築手法を研究しその効果を検証するとともに、乗り継ぎ利便性向上施策の評価手法の確立を目指します。具体的には、駅における流動のボトルネックになりがちな改札口周辺について、従来

型の改札、今後導入が検討される可能性のあるフリーゲート型改札などを含め、多様な改札口構成を模擬、評価する実験環境の構築を行います。これによって、より移動抵抗の少ない駅環境の提案につなげたいと考えています。また、シミュレーション技術を活用した、駅における移動抵抗評価手法を開発し、旅客の移動経路ごとに高精度の移動抵抗評価を可能とします。さらに、鉄道と路線バスのような異種公共交通機関の乗り継ぎ利便性向上を目指して、その移動抵抗を定量的に評価できるような指標の開発および調査手法の確立に向けた検討も並行して進めていきます。

#### 列車運行に対する多面的な評価尺度と評価手法

鉄道による移動の円滑化のためには、結節点である駅のみならず、鉄道ネットワーク全体としての移動抵抗の低減にも取り組む必要があります。そこで、移動円滑化の観点から列車運行を多面的に評価するための評価尺度について検討するとともに、その尺度に基づいて列車運行を評価するシミュレーション技術の確立を目指しています。また、GPS搭載携帯電話などにより、移動している旅客の位置や速度などのデータをリアルタイムに収集することができるプローブパーソンシステムを用いて、経路選択や列車選択などの旅客行動データを精度良く継続的に取得する手法についても検討する予定です。

#### 移動円滑性の評価と改善策

これらの研究の成果を受け、鉄道を中心としたインターモダル輸送計画作成手法の検討を進めることにより、移動円滑性に関する新たな評価指標の提案および現状改善のための設備投資の評価に向けた支援ツールの開発につな

げていきたいと考えています(図8)。

また、並行して、移動円滑性に着目した貨物交通の評価システムに関しても検討を進めていく予定です。

#### おわりに

国内では鉄道を取り巻く環境がますます厳しさを増すなかで、海外では鉄道の新規プロジェクトが目白押しです。我が国の鉄道が持つ世界有数の利便性、快適性、環境性をさらに高度化し、国内での競争力強化を図るとともに、海外展開にも耐えうる体系化、標準化に結びつく研究開発を進めていきたいと考えています。[RRR]

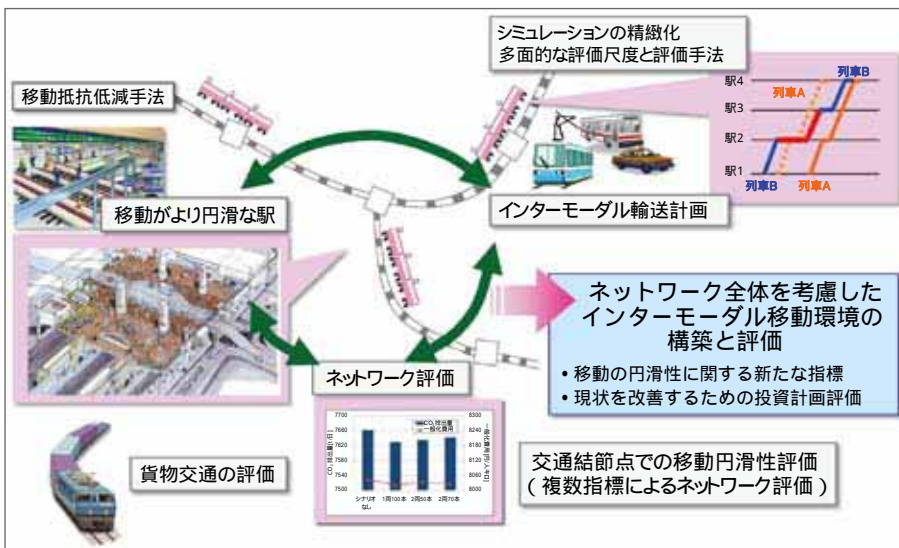


図8 移動円滑性の評価と改善策