

30周年を迎えた鉄道総研の研究開発

利便性の向上



鈴木 浩明
Hiroaki Suzuki
研究開発推進部
主管研究員

[専門分野] 人間工学, 実験心理学

速度向上により目的地への到達時分を短縮し、かつ快適な乗り心地を維持できれば、鉄道の魅力は向上し、対抗輸送機関との競争力も高まります。また、近年の情報通信技術の飛躍的な発達は、鉄道利用のあり方を大きく変えようとしています。鉄道総研では、発足以来、列車のスピードアップとそれともなう振動の低減技術の開発、駅や車内の快適性評価、輸送計画の作成支援や輸送障害時の対応力向上に関わる研究開発に取り組んできました。ここでは、鉄道利用者の利便性・快適性の向上を目指した研究開発を対象に、これまでの取り組みを振り返り、今後の展望について紹介します。

利用者ニーズの階層性

鉄道に対する利用者のニーズは、**図1**のように階層的に整理できます。まずは、安全で、安心して利用できることが基本です。また、その人が支払い可能な料金である必要があります。そのうえで、より速く、時間に正確で、便利で、快適であることが求められます。

利便性・快適性研究の対象

鉄道総研では、1989(平成元)年以降、「主要な研究開発成果」という冊子を毎年発行してきました¹⁾。利便性や快適性に関わる研究ではこれまでに100件近くが採択されています。10年刻みで3つの時期に分けて、研究対象を整理してみたのが**図2**です。この図

から以下のことがわかります。

- 「速度向上と振動の低減」の研究がいつの時代も最も多く、半数以上を占めています。とりわけ、各社が新幹線や在来線の高速化に取り組んだ初期には60%近くを占めます。
- 「車内快適性の評価と向上策」は常に10%以上を占め、最近では少し増加しています。
- 「駅空間の快適性評価と向上策」は20%程度を占めていましたが、最近では減少しています。
- 「輸送計画支援と混乱時対応」の比率は時代とともに増加し、最近では30%近くを占めます。

研究対象は幅広く、そのすべてを紹介することはできませんが、以下、各

分野から代表的な事例を紹介します。

速度向上と振動の低減

列車の高速化にともない、乗車時間が短くなれば、利用者は本来の目的のために割ける時間が増えます。往復の所要時間が減ることで、現地での滞在時間が減り、旅行やビジネスにも便利です。目的地が近くなることで新たな利用者の誘発効果も期待されます。

列車の速度向上は利用者の利便性向上に直結しますが、高速化にともない、車内の振動も一般に増加します。このため、高速化しても良好な乗り心地を確保する手段が必要です。

①セミアクティブサスペンション

車体の揺れを加速度センサーで検知

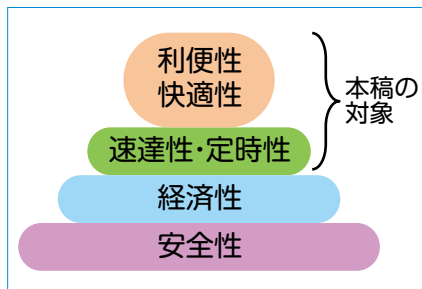


図1 鉄道に対する利用者ニーズ

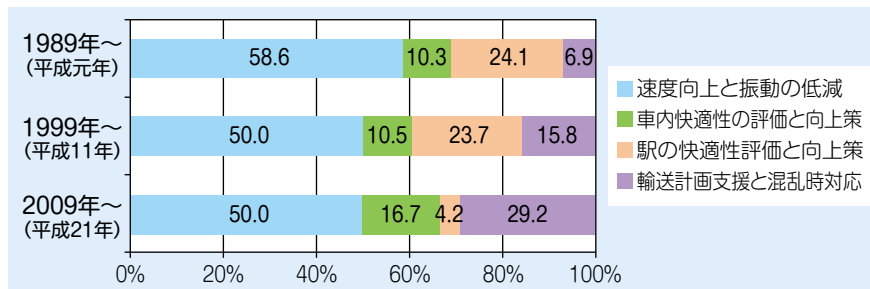


図2 利便性・快適性研究の主な対象

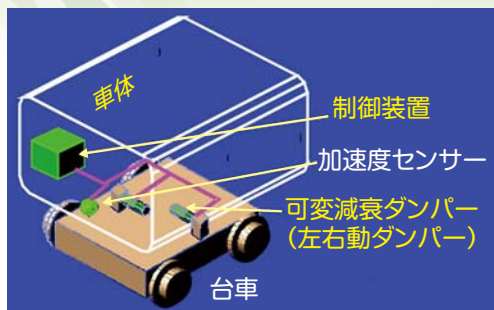


図3 セミアクティブサスペンションの構成

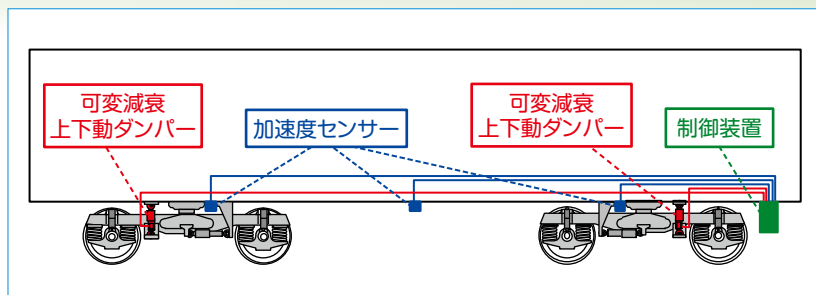


図4 可変減衰上下動ダンパーを用いた制振制御システムの構成例

し、台車と車体の間に取り付けたダンパーをコンピューターで制御して車体の揺れを減少させる装置です(図3)。

軌道から伝わる揺れと空気力による揺れでは性質が異なり、通常のサスペンションでは一方をよくすると、もう一方が悪化しがちでした。しかし、この装置は台車と車体の間に働く力を瞬時の振動に合わせて制御するため、双方の振動を減少できます。制御用の動力も不要ですし、万一故障した場合には通常のサスペンションとして機能します。新幹線や在来線列車に広く採用され、左右振動に起因する乗り心地の改善に貢献しています。

②制御付き振り方式

高速化とは、単に最高速度の向上を目指すだけではありません。山がちな国土を走る在来線の特急列車では、曲線区間で速度を落とさずに走ることが、到達時間の短縮に有効です。曲線区間で車体を自ら内側に傾けて、速度低下を防ぐために開発されたのが振り車両です。

初期の振り車両は、車体に作用する遠心力に基づいて車体を傾斜させる自然振り方式を採用していました。このため、曲線区間での振り遅れなどが生じ、乗り心地が芳しくなかったため、振り制御方式の改良に一貫して取り組んできました。ATS地上子の検出と速度検出機からのパルス積算によって走行地点を求め、車両に備えられた曲線データに基づいて車体を傾斜させる方式を採用することで、乗り心地は大

きく改善しました。

その後も改良を重ね、操舵装置付き振り台車の開発や、後述する乗り物酔い評価指標を活用して、さらに乗り心地の良い振り制御システムの開発を進めています。

③可変減衰上下動ダンパーを用いた制振制御システム

在来線の軌道整備水準が比較的低い区間を走行する車両では、レールの継ぎ目通過時に生じる上下剛体振動が乗り心地に大きく影響します。このため、2次ばねと並列に可変減衰上下動ダンパーを取り付け、ダンパーの減衰力を制御することで、車体の上下振動を低減させる装置を開発しました(図4)。

観光特急列車やクルーズトレインなどに採用され、上下振動に起因する乗り心地向上に貢献しています。

車内快適性の評価と向上策

車内快適性に影響する要因には、振動、騒音、温熱、気圧変動などの物理的なものから、混雑度や座席の質感、車窓眺望とさまざまなものが含まれます。最近では車内でパソコンやスマートフォンを利用する人が増え、良好な無線環境への関心が高まっています。

①振動乗り心地の評価法

車内快適性に影響する要因のうち最も検討が進んでいるのは振動です。どのような振動成分を利用者が不快に感じるのか、どの程度の強さまで許容されるのかなど、さまざまなテーマに取

り組んできました。

曲線区間で生じる遠心力や、ブレーキ時の前後方向の加速度は、立位の乗客の姿勢維持に影響します。このため、遠心力に相当する左右定常加速度の許容限度や、乗り心地的に望ましいブレーキパターンの提案を行いました。

最近では、上下や左右の振動影響を総合的に評価でき、かつ車両開発や軌道管理に有用な乗り心地情報を一元的に表示できるシステムの開発へと発展させています。

②列車酔いの発生実態と振動特性

鉄道は比較的酔いにくい乗り物とされていますが、振り車両での酔いが時に話題となります。しかし、発生実態や影響する振動特性が未解明でしたので、約4,000名の乗客を対象に乗り心地調査を実施しました。その結果、酔いを訴える乗客は振り車両で約1.3%(非振り車両では0.3%)でした。

また、酔いを訴える乗客が多い区間では、周波数0.25~0.3Hzの左右振動成分が多いことを発見し、乗客の体感を考慮した乗り物酔い評価フィルター(周波数補正曲線)を開発しました。この活用によって、振り車両の傾斜制御技術はさらに発達しています。

③車内快適性シミュレーターの開発

快適性に関わる研究開発を効果的に進めるため、車内快適性シミュレーターを開発しました(図5)。走行時の振動音、温度、照明環境のコントロールはもちろん、CGを使って車窓風景を自由に

生成・制御できます。

たとえば、前述の乗り心地調査の結果を受け、酔いやすいとされる周波数成分だけを増やしてシミュレーターで評価実験を実施した結果、確かに「酔う」という反応が増えました。このように実車での調査を補完し、研究の精度を高めるためにシミュレーターは有用です。

ほかにも、通勤列車の手すり、つり革、車いす利用者用スペースの設計などにシミュレーター実験の成果が活かされています。



図5 車内快適性シミュレーター



図7 ホーム縁端警告ブロック
(←線路側 ホーム内側→)

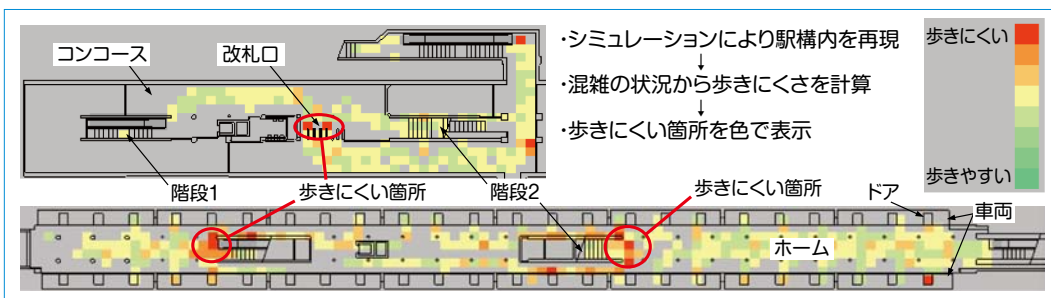


図6 旅客流動評価シミュレーション結果の表示例

駅の快適性評価と向上策

駅は単なる乗降の場から、より快適で活気あふれる空間へと変化しています。駅における利用者の流動や、温熱・音環境の快適性など、駅空間を対象にした研究も重要なテーマです。

①旅客流動シミュレーション

駅の屋根を取り去り、各階を切り離して真上から俯瞰し、刻一刻と変化する旅客の複雑な流動を動的にとらえたい。これを可能にしたのが旅客流動シミュレーションです。さらに、同シミュレーションの結果から旅客の歩きにくさを図面上で表示するのが旅客流動評価シミュレーションです(図6)。このシミュレーションでは、列車の扉ごとの乗降人員(乗降分布)と、階段や改札口の位置関係から旅客流動を定量的に評価することができます。駅の大規模改良時や工事のために階段が閉鎖されている期間中の旅客流動を把握・予測するための活用事例が数多くあります。

②温熱環境シミュレーション

駅は大空間で、屋外に面する開口部が多く、断熱性や熱容量が低い材料で構成されている例も少なくありません。このため、空調設備がない場合には屋外気象条件の影響を大きく受けます。一方、開口部が小さいと照明などの発熱体の影響を無視できません。

温熱環境は駅の快適性に影響するため、計画時点で駅の温熱環境を予測・評価するためのシミュレーションを開発しました。屋外の気象条件や駅舎の開口部形状の違いによる駅構内温熱環境の比較検討が可能です。

③視覚障害者誘導用ブロック敷設法

鉄道施設・設備のバリアフリー化を促進する研究にも取り組んできました。たとえば、視覚障害者誘導用ブロックはすでに多くの駅ホームに敷設されていますが、駅への敷設ルールは詳細に定まっていませんでした。

このため、延べ100名超の視覚障害者の協力を得て、駅ホームの利用実態を把握し、望ましい敷設方法を定めました。ホームの内側と線路側の誤認を防ぐため、従来の点状突起に線状突起を加えたホーム縁端警告ブロックは一例です(図7)。国の監修するガイドラインやJIS規格に採用されています。

輸送計画支援と混乱時対応

移動時間の短縮や、列車本数の増加には、停車駅の選定、他列車との乗り継ぎ、列車間の速度差調整、退避・行き違いなど、ダイヤ構成に関わる検討も重要です。また、事故や故障などでダイヤが乱れた際は、利用者の不満が増加しますので、その対応も急務です。

①列車運行・旅客行動シミュレーター

旅客の視点から列車ダイヤの評価を行うために列車運行・旅客行動シミュレーターを開発しました(図8)。自動

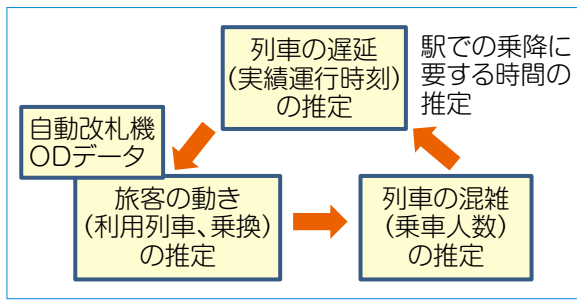


図8 列車運行・旅客行動シミュレーターの概要

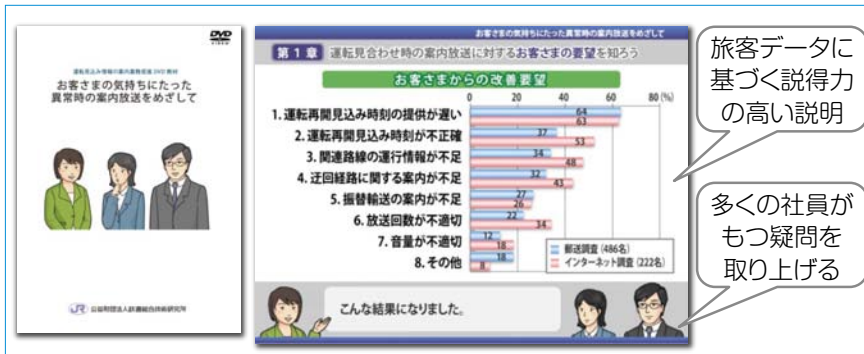


図9 DVD教材と画面例

改札機などで記録された旅客の利用データ(ODデータ)を用いて、あるダイヤを実施した際の旅客流動、列車の遅れやすさ、旅客にとっての利便性などを推定し、列車ダイヤを検証することができます。また、列車全体の混雑に加え、号車別の混雑の偏りも推定できます。ある列車に数分の遅れを発生させた場合など、小規模なダイヤ乱れを想定したシミュレーションも可能です。さらに、推定結果をわかりやすく表示することで、列車ダイヤを多角的な視点から評価できます。

②異常時旅客流動の分析・予測手法

輸送障害によるダイヤ乱れ時には、旅客流動を適切に把握・予測し、それに合致した運転整理を行う必要があります。そこで日々の列車運行にともない収集・蓄積されている実績運行時刻、列車乗車人数データを分析し、ダイヤ乱れ当日の旅客流動を可視化、予測する手法を開発しました。運転整理の事後検証や列車運休本数の判断材料とし

ての活用例があります。

③ダイヤ乱れ時のアナウンス改善

事故や故障などで輸送が乱れた際の対処の仕方は利用者の不満に大きく影響します。輸送障害時の不満を低減するには運転再開見込み情報の早期案内が重要です。しかし、情報の正確さを優先したり、または、後で乗客から受けるクレームを過度に心配して、情報の提供タイミングが遅くなりがちでした。

このため、利用者の望む声や意見をデータとして収録し、社員が情報を利用者に伝えることの重要性を実感できるDVD教材を開発しました(図9)。最近では、より臨機応変な対応が必要なる状況でのアナウンス能力の育成支援へと発展させています。

今後の取り組み

高速化とそれにとまなう振動の低減、ならびに車内快適性の評価は、引き続き重要性の高い分野です。振動乗り心地改善における車両制御と軌道管

理、または快適性に影響する各種の要因(振動、騒音、温熱)など、ともすると、担当部署の違いから、個別に検討されがちでしたが、これらを統合し、利用者視点に立った総合的な快適性の向上を目指します。駅についても、旅客流動と物理環境の制御技術を活用して、より安全で快適な駅環境の構築に取り組みます。

一方、図2に示すように、利用者のデマンド把握、輸送計画支援、輸送障害時対応など、情報通信技術を活用した研究開発の比重は今後さらに増すものと考えられます。大都市圏におけるICカード乗車券やそのモバイル対応技術の普及は、鉄道の利用方法を一変させました。今では時刻表の検索、輸送障害時の運転再開時刻や迂回経路、駅構内や周辺を歩く際のナビゲーションなど、利用者はリアルタイムでさまざまな情報を取得して行動します。

このため、安定した高速大容量通信と良好な無線環境の確保、増加する旅客・鉄道会社間での異常時情報の共有と活用、外国人旅行者へのわかりやすい情報提供などへの取り組みが不可欠です。

利便性や快適性の向上に対する利用者のニーズは、技術の発達とともに高まり続けます。情報通信技術や人の心理・生理計測技術の基礎研究の発展にも目を配りつつ、鉄道利用者の利便性をさらに向上していくための研究開発に取り組みます。

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(2015年度), <http://www.rtri.or.jp/rd/seika/2015/>