



鉄道分野における人間工学研究と横幹的アプローチ

鈴木 浩明*

Transdisciplinary Ergonomic Approach to Railway Transport Systems

Hiroaki SUZUKI*

Abstract— Railways are a major and well-used transport systems in Japan. Ergonomic studies have been conducted since the establishment of the Railway Labor Science Institute in 1963. The main purpose of applying the ergonomic approach to railway transport is for improvements in passenger/employee safety and comfort. This paper outlines a brief history and recent topics to this methodology. In particular, we focus on a transdisciplinary approach in cooperation with other appropriate research fields, such as safety equipment, vehicle dynamics, architecture and information technology. Major topics discussed will include: joint studies with train protection systems on human error prevention, with vehicle dynamics on passengers' motion and injuries caused by train collisions and riding comfort evaluations.

Keywords— ergonomics, human error, comfort

1. はじめに

日本において、鉄道はきわめて身近な輸送機関である。人が移動の際に利用する輸送手段別の分担量を示した統計資料 [1] によれば、日本では鉄道がその 35 % を占めている (ちなみに乗用車が 50 % で最大)。これはフランス (10 %), イギリス・ドイツ (7 %), アメリカ (1 %) 等の欧米諸国と比較しても非常に高い値である。

このように身近な鉄道システムを、さらに安全で快適な輸送手段とするために、鉄道では技術分野横断的な研究開発に取り組んでいる。本稿では、鉄道利用者や従業員を対象にした人間工学的な研究開発を例に、横幹的アプローチの一端を紹介する。

2. 鉄道における人間工学研究

2.1 鉄道労働科学研究所の誕生

鉄道における本格的な人間工学研究は、旧国鉄時代に始まる [2, 3]。1963 (昭和 38) 年に国鉄は鉄道労働科学研究所 (鉄道労研) を発足させ、研究所を構成する 6 研究室の 1 つとして、人間工学研究室を設置した。鉄道労研の発足は、その前年に起きた常磐線の三河島事故を直

接の契機としている。運転士の信号冒進に端を発した多重衝突事故は、死者 160 名、重軽傷者 296 名という大惨事となり、事故後の重要な対策の 1 つが、ヒューマンファクターを専門に扱う研究所の創設であった。

当時の考え方が、国鉄の資料「鉄道労働科学研究所の機構 (1964 年)」に記されている。「労研発足まで、労働科学に関する研究は、心理部門を主体とした中央鉄道学園能率管理研究所の労働科学研究室と、厚生局安全衛生課に所属する労働医学研究室とにおいてそれぞれ行うという体制をとってきた。しかし、両研究室の研究対象には共通のものがきわめて多く、分離された組織では、心理学、医学を統合した労働科学の研究において十分な効果をあげることは難しい。」また、「三河島事故に対する監査委員会の特別監査報告書においても、事故防止のための職員の指導訓練に当っては、人間工学的研究を十分とり入れるとともに、心理学及び精神医学の分野を統合して研究し、より適切な人事管理を行う」よう求められたことから、心理と医学の両輪に、人間工学を加えた新たな研究機関の創設に至ったのである。

約 50 年前の時点においても、現実の問題解決のために、研究分野を超えた取組みの重要性が指摘されている点は興味深い。

2.2 東海道新幹線の開業と日本人間工学会の発足

鉄道労研の発足は、1964 年の東海道新幹線 (東京～新大阪間) 開業を間近に控えた時期でもあった。当時の

*財団法人鉄道総合技術研究所 東京都国分寺市光町 2-8-38

*Railway Technical Research Institute, 2-8-38 Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo

Received: 4 January 2011, 20 January 2011

新幹線は世界で初めて200km/h超で走行する高速列車であり、その高速運転時の安全保証は、国鉄技術陣にとって最重要課題であった。このため、国鉄は様々な技術分野に関わる専門委員会（研究会）を事前に設置して、問題点やその解決に向けた課題を整理するよう努めた。人間工学に関わるものとしては、三河島事故より前の1961年4月から順に3つの研究会が設置されている [4]。

- ① 「新幹線動力車乗務員の人間工学的研究会（委員長：労働科学研究所桐原葆見理事）」
列車輸送に最も密接な関係のある電車運転士の適性、作業環境、勤務等についての諸検討を行う。
- ② 「信号用コントロールパネルに関する調査研究会（委員長：東京大学阪本捷房教授）」
列車集中制御装置（CTC）を中心とする表示、制御、配色、色彩計画等についての検討を行う。
- ③ 「旅客車における接客設備の人間工学的研究会（委員長：千葉大学小原二郎教授）」
主として、新幹線電車における接客設備の水準向上を意図しての設備に関する検討を行う。

これらは、運転保安や情報制御、車両開発分野との共同研究であり、鉄道における人間工学はその発足当初から横幹的な実用研究を使命としていたことが分かる。

また、東海道新幹線の開業は日本人間工学会の誕生とも期を同じくしている。1963年に発足した人間工学研究部会は1964年12月に日本人間工学会へと発展した。1965年に発行された機関誌「人間工学」創刊号の特集は、「東海道新幹線における人間工学」であった [4]。

2.3 人間工学の発達と横幹的研究の活発化

1960年代から70年代にかけての人間工学は、「安全で疲れにくく、健康を害することのない作業環境」の構築を目的に、応用的な研究開発を推進してきた。各種の保安装置（ATS：自動列車停止装置やATC：自動列車制御装置）の開発や運行管理システムの要件の整備、速度向上時の心理・生理影響の分析などが中心課題であった。この時代、旅客のための研究開発は座席の設計や自動券売機の操作性などの一部テーマに限定されていたが、1980年代になると、安全性と操作性に加え、列車の乗り心地や車内設備の改良に関わる研究開発が増えはじめ、人を取り巻く「環境」の評価が人間工学の一分野として確立されるに至った。

1987年の国鉄の分割・民営化に伴い、鉄道労研は新たに発足した鉄道総合技術研究所（鉄道総研）に承継され、技術系の研究室と同列に、1つの研究室（労働科学研究室）を構成することとなった。国鉄時代の流れを受

け、労働科学研究室には労働医学、労働心理、人間工学の3ユニットが設けられた。当面は専ら国鉄時代の研究テーマを継承していたが、「利用者サービスの向上」に対する鉄道会社の関心が急増したことで、テーマ内容も次第に変化しはじめた。その結果、労働科学の名で活動内容を包含するのが難しくなり、1993年には名称を人間科学研究部に変更した。現在の人間科学研究部は、安全心理、人間工学、安全性解析の3研究室から構成されている。

鉄道分野の人間工学が扱ってきた主な課題は **Table 1** に整理できる。**Table 1** の左上ほど、創設当時から検討されてきた課題であり、時代が進むにつれて、概ね **Table 1** の上から下へ、左から右へと研究内容は拡大してきた。

また、人間工学が扱うテーマは、鉄道システムの様々な領域と密接に関わっているため、隣接する技術分野と協調した研究開発が不可欠である (**Fig. 1**)。以下、安全性と快適性の視点から、代表的な研究例を紹介する。

3. ヒューマンエラー事故の防止

労働科学の名称をもたない今日でも、列車運行時のヒューマンエラー事故防止が最大の課題であることは間違いない。そのための研究アプローチは、**Fig. 2** の3つの側面を区別できる [5]。

(1) エラーの発生を減らす対策

事故につながる（またはつながる可能性のある）エラーを生じにくくするための研究は、最も根本的な課題である。大別すると、人そのものの信頼性を向上しようとするアプローチと、作業条件や作業環境の改善を図っていくアプローチとがある。列車の運転作業を例にとると、運転適性検査制度の整備は前者の例にあたる。一方、乗務に伴うワークロード（眠気や疲労など）の評価手法を開発し、集中力の維持や疲労防止の観点からみて適正な乗務員運用計画の作成を目指す研究は、後者の例として位置づけられる。

(2) エラーを事故につなげない対策

前述のエラー低減対策のみで、エラーをゼロにすることは現実的に難しい。そこで、事故が発生した場合の被害を可能な限り抑えるために、万一エラーが生じてもそれを事故につなげないような対策が必要となる。具体的には、ATSを始めとした保安設備の開発や、効果的な訓練などで乗務員の異常時対応能力を向上させることが課題となる。各種保安設備の開発は、エラーを事故につなげないための対策の歴史を物語っている。

Table 1: 鉄道における人間工学の主な課題 [2]

安全性	快適性	利便性
<ul style="list-style-type: none"> ・運転事故防止（運転台の機器配置、ATS・ATC等の保安システム設計と評価） ・CTCシステムのマンマシンインタフェース設計 ・踏切事故防止（ドライバーの意識、視認性向上など） ・傷害事故防止（傷害事例の分析、触車事故防止、貨車の構造と作業姿勢など） ・地上信号の視認性、地上標識類の改良 ・運轉作業負担の適正化 ・衝突時の乗客被害の軽減策 ・列車風が旅客に及ぼす影響 ・車内での乗客転倒防止策 ・駆け込み乗車の抑止 ・人身事故の抑止 	<ul style="list-style-type: none"> ・労働環境改善（粉塵・有毒ガス・振動・騒音低減、空調・照明改善） ・乗務員宿泊施設の環境改善 ・座り心地の評価と腰掛の設計 ・振動に起因する乗心地の評価 ・気圧と耳閉感（耳つん）評価 ・低周波振動が列車酔いに及ぼす影響の特定 ・車内快適性の総合評価指標 ・駅利用時の快適評価指標 ・旅行疲労、通勤疲労の評価法と低減策 ・鉄道利用者の迷惑行為の実態と改善策 ・地下駅の空気環境（清浄度・臭いなど）の測定と評価 ・旅客の衛生・清潔指向の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動出改札システムのユーザビリティ評価（乗車券自動発売機、指定券発売機、カード化、自動改札システム） ・駅案内表示機器の評価と改良 ・鉄道システムのバリアフリー化（高齢者の意識調査、視覚障害者誘導用ブロックの敷設方法一元化、つり革・手すり等の車内設備の最適化） ・輸送混乱時の旅客への情報提供方法 ・駅型保育所利用者の鉄道利用行動の分析 ・車内でのパソコン利用環境の改善（座席とテーブル環境）

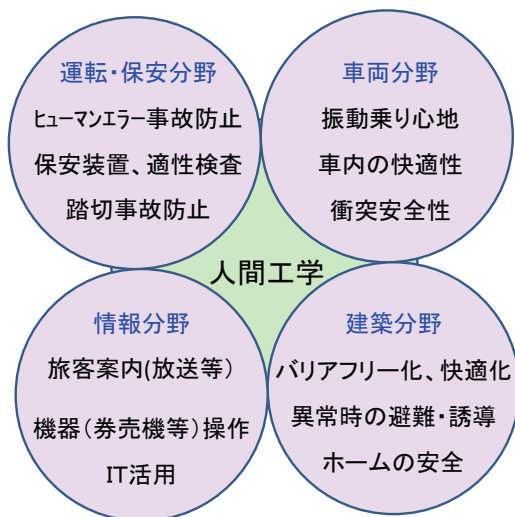


Fig. 1: 人間工学と他の技術分野との連携課題

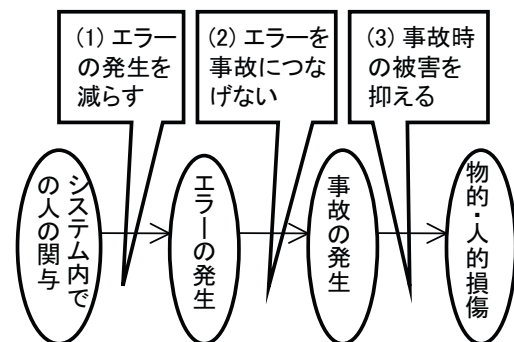


Fig. 2: ヒューマンファクターからみた安全研究の3つのアプローチ

(3) 事故時の被害を抑える対策

万一の事故の発生を防げなかった場合でも、乗客や乗員の被害をできるだけ小さくするような備えが必要である。例えば、衝突などの強い衝撃時の車内安全や、異常時における旅客の避難・誘導などが課題となる。わが国では、「そもそも事故など起きてはならない」という考え方が過度に強調されやすく、この種のアプローチを表立って議論しにくかったが、最近では重要な研究対象として認知されるようになってきている。

以上の3つのアプローチから1例ずつを紹介する。

4. エラー発生の低減：運転士のワークロード評価

運転士が出勤してから勤務終了までの間、どの列車にどのような順序で乗務するかを割り付ける「乗務員運用」は、列車ダイヤに合わせて決められるため、不規則・不定型なものとなる。このため、多くの鉄道会社では、勤務時間、深夜勤務、在宅休養時間、1日の乗務時間、1継続乗務時間などの制限（基準）を設け、運転士の作業負担（ワークロード）に配慮している。ただし、これらの基準は、乗務員運用作成担当者の経験の積み重ねに基づくものが大半で、根拠が必ずしも明白でない。そこで、列車ダイヤの作成を支援するソフトウェアの開発 [6] とともに、乗務員運用の作成を支援するために、運転士の勤務中のワークロードを予測できるソフトウェア開発が求められてきた [7]。

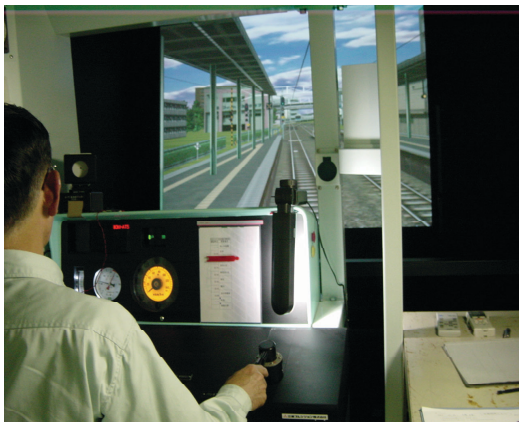


Fig. 3: 列車運転シミュレータの操作風景

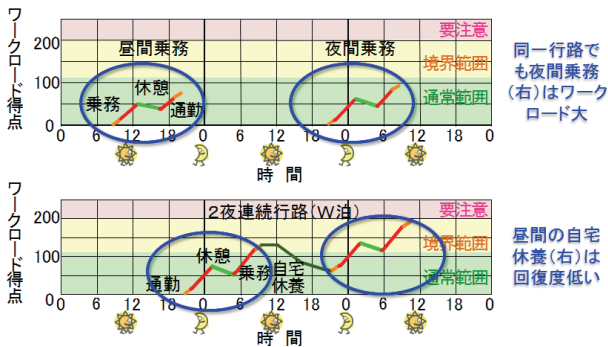


Fig. 4: ワークロードシミュレーションの表示例 (抜粋)

ソフトウェア開発のため、まずは実際の乗務時に得られた運転士の負担評価データや、列車運転シミュレータ(実際の運転場面を模擬できる装置, Fig. 3) 実験で得られたデータを分析した。ついで、列車の種類や速度条件、勤務時間帯の影響などを重みづけ係数に取り入れ、運転士の時々刻々の作業負担(ワークロード得点)を判定する新たな基準を提案し、ソフトウェア化した。このソフトウェアを用いることで、乗務員運用に指定されている作業種別(本線運転, 入出区など), 休憩条件および各々の開始・終了時刻などから、運転士のワークロード変動をシミュレーションできる。シミュレーション結果の表示例(抜粋)を Fig. 4 に示す。

このようなソフトを活用することで、見直すべき行路の抽出、事故防止の重点指導列車や休養管理の重点指導行路の把握などが可能になる。

5. エラーを事故に繋げない：異常時対応能力向上

列車運転シミュレータ (Fig. 3) を用いて、運転士に異常時対応を体験させる訓練を多くの事業者が実施しているが、従来の訓練プログラムでは異常時の環境的な側面(視覚, 音, 振動など)の模擬が重視され、心理状況の模擬という側面はそれほど意識されていなかった。ま

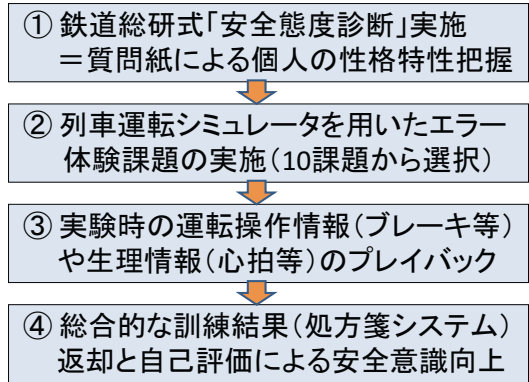


Fig. 5: 異常時対応能力向上プログラムの構成

た、訓練後の運転士へのフィードバックは、教師役(指導者)の主観的な評価が中心で、その客観化に向けた課題も残されていた。このため、異常時における運転士の心理的な側面の擬似体験が可能で、かつ、運転行動の客観的評価手法を組み込んだシミュレータ訓練として、異常時対応能力向上プログラムの開発に取り組んだ [8]。

このプログラムは Fig. 5 に示す 4つのステップから構成される。この手法により、運転操作情報とその際の生理的反応を関連づけて運転士にプレイバックすることができ、運転士自身の気づきを活用した教育効果が期待できる。現役運転士を対象に、このプログラムを体験してもらい、エラー課題の妥当性や運転士自身の気づきによる教育効果の有用性を確認している。現在は最終的な製品化に向け、調整を進めている [9]。

6. 事故時の被害軽減：衝撃時の乗客挙動と被害推定

衝突事故等、強い衝撃が生じた際の乗客の身体挙動を解明し、その傷害の有無や程度を推定する乗客挙動解析手法の研究に取り組んでいる [10, 11]。実際に列車事故に遭遇した乗客を対象にしたアンケート調査を実施し、衝撃による傷害の実態を把握したところ、立位客では床、座位客では手すりを兼ねているので仕切りにぶつかることで生じる傷害がもっとも多いことがわかり、ロングシート端部のそで仕切り脇に座っている乗客の挙動解析を実施した。

そで仕切りの形状や材質等を様々に変えて胸部変位をシミュレーションした結果、板型のそで仕切りの方が、パイプ型よりも胸部変位が小さく、胸部傷害の発生確率を低減する効果のあることが推定された。この検証のため着座乗客を模擬したダミー人形を用いて衝撃試験を実施した結果、シミュレーションと同様の結果が得られた。Fig. 6 に実験時に記録した映像の例を、Fig. 7 に解析結果の例を示す。現在は、板型の袖仕切りの最適なサイズに関わる検討を引き続き進めている。

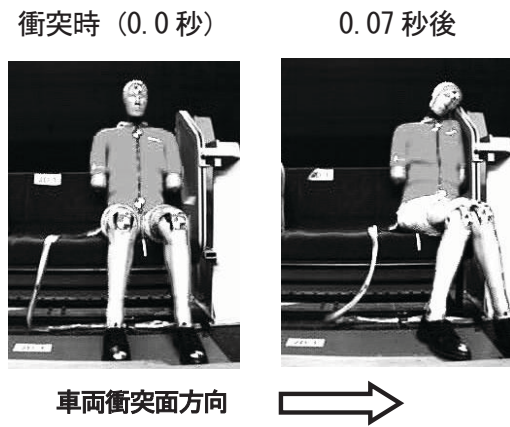


Fig. 6: 着座乗客を模擬したダミー人形を用いた衝撃試験例

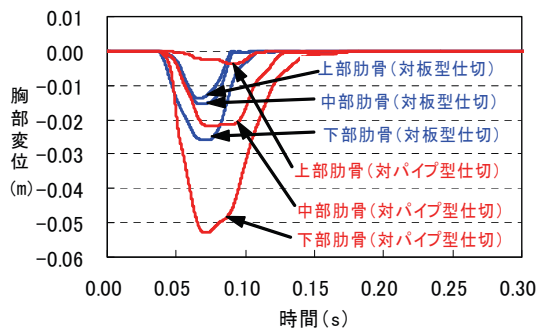


Fig. 7: ダミー人形の胸部変位結果

さらに、列車内には多数の旅客が乗車していることから、車内のより広い範囲を対象とした乗客挙動解析にも取り組んでいる。この解析では旅客同士の衝突も考慮しており、乗車状況毎に傷害を引き起こす可能性のある車内設備等の要因を検討し、より複雑な状況を考慮した対策検討が進められるものと考えている。

また、この研究は車両構造分野との連携が必要である。たとえば衝突時の安全性を高めるために車両強度の一層の向上が図られる方向にあるが、どの程度強度を増せば、乗客や乗員の安全性がどの程度向上するのかを端的に示す物差し（指標）は、現時点で確立されていない。こうした課題の検討のため、車両自体の破壊挙動解析と乗客挙動解析の融合を進めていく予定である。

7. 旅客の利便性と快適性

ここでは、鉄道利用者の利便性や快適性の向上に関わる研究事例の中から横幹的特色の強い2つを紹介する。

7.1 駅における旅客流動のシミュレーション

通勤ラッシュ時の駅ホームでは乗降客の流れ（動線）が交錯したり、あるいは待ち行列を避けたりする状況から、注意をしながらホームの端を移動したり、人とぶつからないようにしたり、不安を感じながらの移動を強い

られるという負担が生じることがある。こうした負担なしに利用できる動線を確保するために、建築系の研究室では駅ホームのレイアウトに対する動線を予測し、その時の旅客の負担を予測する評価方法を開発した [12].

これは、多くの事業者に活用されてきた「旅客流動シミュレーション」 [13] を改良したもので、実験により混雑したホームや階段を再現し、ホーム上の密度や階段の歩行速度と旅客が感じる歩きにくさの関係を調べ、この関係をシミュレーションシステムに組み込んだ。具体的に評価したいホームのレイアウトを入力すると、レイアウトに対する旅客流動予測が行われ、予測された人の密度や歩行速度から、ホーム上の場所ごとに歩きにくさが8段階の色わけで示される (Fig. 8)。これにより、ラッシュ時の旅客が安心して移動できるホーム設備のレイアウトを事前に検討することができる。

7.2 車内の快適性向上

列車内の快適性向上には、振動・騒音等の低減技術が不可欠であるが、一方、乗客の体感と一致する「快適度の物差し」を開発するための研究も重要である。この種の物差しを開発できれば、その後の技術開発の目標値を具体的に定めることが可能になるためである。そこで、車両構造や車両制御に関わる技術分野と共同で、車内の快適性評価指標の開発に向けた研究開発に取り組んでいる [14].

まず、振動乗り心地に関しては、ブレーキ時、曲線走行時、分岐器通過時など、乗り心地が損なわれやすい区間での評価手法の提案や、振り式車両の乗り心地評価指標の開発を行った。曲線区間で車体を自ら内方に傾斜することで、車両と乗客に作用する遠心力を相殺して走行できる振り式車両は、曲線が多い線区での速度向上に大きく貢献してきたが、一部の乗客から乗り心地での不満が寄せられたこともあり、車体傾斜に起因する乗り心地の評価指標の開発が必要となっていた。このため、曲線区間の入り口にあたる緩和曲線区間走行時の乗り心地を評価可能な指標を開発するとともに、0.25~0.3Hzの低周波左右振動が列車酔いの一因であることを明らかにし、車両の制御方式の改善に貢献した [15].

また、列車内の振動、騒音、視覚環境などを室内で模擬することで、体感試験を効率的に進めることが可能な「車内快適性シミュレータ」を開発した (Fig. 9) [16]. 多数の被験者に同一の振動・騒音環境などを提示でき、実車では実現困難な試験を実施可能にしたことが本装置の大きな特色である。例えば、つり革や手すりなどの姿勢支持具の使いやすさを調べるために、つり革高さやひもの長さ、手すりの材質、太さ、湾曲形状などを変えて評価試験を実施し、望ましいデザインの提案などにつながった [17].

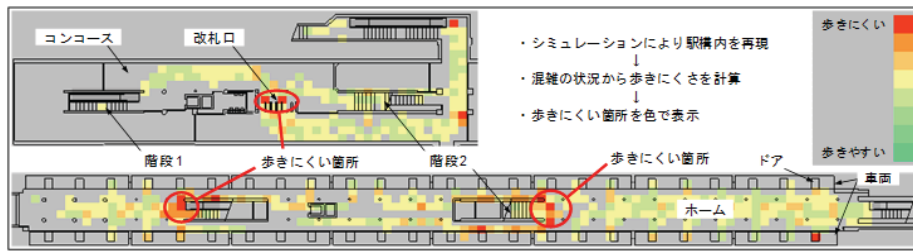


Fig. 8: 旅客流動シミュレーションを活用したホーム上の歩きにくさイメージ



Fig. 9: 車内快適性シミュレータ

なお、近年の列車の高速化に伴い、30Hz前後の高周波振動が増す傾向にある。この帯域の振動は従来、体の表面で減衰してしまい、乗り心地に影響しないとされてきたが、実際には無視できないことが次第にわかってきた。この帯域の振動は非常に周波数の低い音としても知覚されるため、振動と音を総合した快適性の評価手法が必要となる。このため、車両や空気力学分野と共同して、低周波音・高周波振動条件を模擬可能な振動実験装置を開発するとともに、新たな乗り心地評価法を提案するための研究開発に取り組んでいる [18]。

8. おわりに

今後とも鉄道をさらに安全で快適な輸送手段とするために、横幹的な視点を活かしたアプローチに取り組み続ける所存である。一層のご理解とご支援を賜りたい。

参考文献

[1] 国土交通省鉄道局（監修）：数字でみる鉄道2010, pp. 18-19, 財団法人運輸政策研究機構, 2010.
 [2] 鈴木浩明: 鉄道の人間工学, 日本人間工学会第50回記念大会講演集（学会主催シンポジウム—人間工学の歴史と未来）, pp. 14-17, 2009.

[3] 鈴木浩明: 鉄道と人間工学—その誕生から現在まで—, JREA, Vol.48, No.11, pp. 31-34, 2005.
 [4] 日本人間工学会（編）：人間工学 創刊号—特集：東海道新幹線における人間工学, Vol.1, pp. 12-23, 1965.
 [5] 鈴木浩明: 鉄道における人間科学研究の現況と今後の課題, 鉄道総研報告, Vol.22, No.7, pp. 1-4, 2008.
 [6] 山下修, 福村直登: 輸送計画作成を支援する, RRR, Vol.66, No.7, pp. 22-25, 2009.
 [7] 澤貢, 佐藤清, 水上直樹, 鈴木綾子: 運転士のワークロード予測手法の妥当性向上, 鉄道総研報告, Vol.22, No.7, pp. 5-10, 2008.
 [8] 喜岡恵子, 澤貢, 北村康宏, 赤塚肇: 運転士の異常時対応能力向上に向けた教育プログラムの開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.9, pp. 5-10, 2009.
 [9] 井上貴文: 運転士の異常時対応能力向上プログラム, 第234回鉄道総研月例発表会要旨, 2010.
 [10] 小美濃幸司, 白戸宏明, 斎藤綾乃, 遠藤広晴: 人体挙動解析による着座乗客の衝突安全性の向上, 鉄道総研報告, Vol.21, No.5, pp. 23-28, 2007.
 [11] 小美濃幸司: ヒューマンファクターと安全・安心, 第22回鉄道総研講演会要旨集, pp. 61-69, 2009.
 [12] 山本昌和, 石突光隆: 駅の歩きやすさを向上する, RRR, Vol.67, No.1, pp. 27-30, 2010.
 [13] 安藤恵一郎, 青木俊幸, 大戸広道: 旅客流動シミュレーションシステムの改良, 鉄道総研報告, Vol.5, No.8, pp. 3-10, 1991.
 [14] 鈴木浩明: 鉄道車両の乗り心地の評価法, 騒音制御, Vol.31, No.5, pp. 362-367, 2007.
 [15] 鈴木浩明, 白戸宏明, 手塚和彦: 列車内における乗り物酔いに影響する振動特性, 人間工学, Vol.39, pp. 267-274, 2003.
 [16] 白戸宏明, 中川千鶴, 鈴木浩明: 車内快適性シミュレータの開発と活用法, 鉄道総研報告, Vol.18, No.2, pp. 5-8, 2004.
 [17] 松岡茂樹, 鈴木浩明: 通勤近郊車両の車内設備のユニバーサルデザイン化, 鉄道車両と技術, Vol.116, pp. 12-20, 2006.
 [18] 中川千鶴, 島宗亮平, 白戸宏明, 富岡隆弘, 高見創, 渡邊健: 高周波上下振動が乗り心地に及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol.23, No.9, pp. 35-40, 2009.

鈴木 浩明



早稲田大学大学院文学研究科心理学専攻修士課程修了。1989年財団法人鉄道総合技術研究所入所。社会心理研究室研究員、人間工学研究室長を経て、2007年7月より人間科学研究部長、博士（人間科学）。鉄道利用者の安全性・快適性向上に関わる研究開発に従事。