

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 列車内環境を再現できる 車内快適性シミュレーター

車内快適性シミュレーターは列車内環境をリアルに再現することが可能な実験装置です。振動、音響、映像などを複合して呈示することにより、搭乗者は実際に列車に乗っているような体験をすることができます。また、各々の要素を個別に操作することにより、実車では実現できないような列車内環境を実験的に作り出すことも可能です。ここでは、車内快適性シミュレーターの概要を紹介するとともに、この装置を用いて実施したいくつかの研究事例を紹介します。



大野 央人

Hisato Ohno  
人間科学研究部  
主任研究員

【専門分野】 乗り心地  
評価、乗り物酔い評価、  
ユニバーサルデザイン

## はじめに

今日の鉄道旅客輸送においては、旅客が快適性を重視する傾向が強まり、車内快適性（乗り心地）の研究ニーズが増大しています。車内快適性の研究というと実車を用いた実験がイメージされがちですが、室内実験で車内快適性を研究することも少なくありません。というのは、実車を用いた実験にはさまざまな制約もあり、経済性の良さ・条件設定の自由度・繰り返しの容易さなど、室内実験の方が有利なこともあるためです。その意味において、実車

による検討と室内実験による検討はいわば車の両輪のような関係で、研究を進める際には各々の長所を活かしながら、両者を使い分けるのが一般的です。

そのようなわけで、車内快適性に関する室内実験は国鉄時代から行われてきました。その実験装置の一部は鉄道総研に引き継がれ、四軸振動装置（図1）として2000年頃まで使われていましたが、油圧駆動の振動装置の上に座席が載ったシンプルな構造のため、その装置を使ってできる検討は必然的に振動と乗り心地との関係に限定され



図1 四軸振動装置

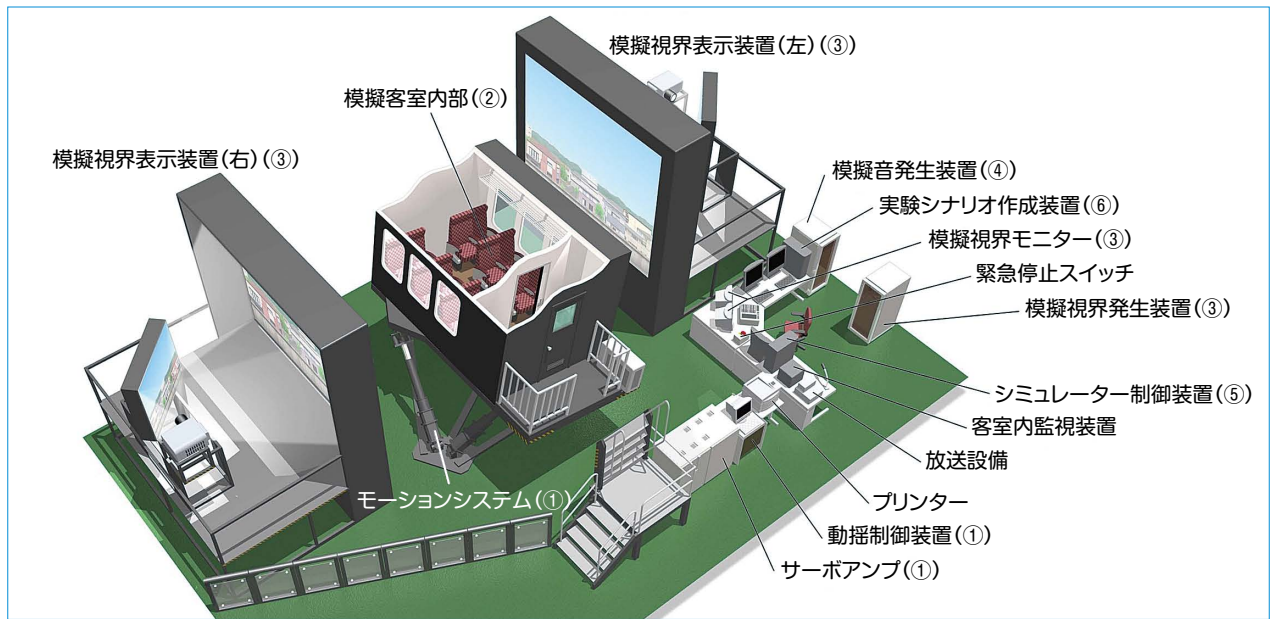


図2 車内快適性シミュレーター

ていました。

振動の影響が列車の車内快適性にとって重要であることは間違いないのですが、乗客が感じる車内快適性が振動以外の要因にも影響を受けることは、日頃の経験からも想像できると思います。実際、車内騒音、車窓からの眺望、座席の座り心地、車内のインテリアなど、さまざまな要因が複合的に車内快適性に影響することが報告されています。

そこで、車内快適性の研究にはできるだけ実際の列車内に近い環境で検討できる実験装置が必要と考え、2003年に車内快適性シミュレーターが開発されました。これ以降、この装置を使ってさまざまな研究が行われています。

ここでは、車内快適性シミュレーターの概要を述べた後、同シミュレーターを用いて実施された研究事例をいくつか紹介します。

### 車内快適性シミュレーターの概要<sup>1)2)</sup>

車内快適性シミュレーターは、モーションシステム、模擬客室、模擬視界装置、模擬音装置、シミュレーター制御装置、および実験シナリオ作成装置の各部から成っています(図2)。各部の役割と性能は以下の通りです。

#### ①モーションシステム

6本のアクチュエーターにより、6軸(前後、左右、上下、ローリング、ピッチング、ヨーイング)の動揺を発生して、鉄道車両の運動を再現します。

出力可能な運動は、前後・左右・上下の各方向の加速度が $\pm 5.0\text{m/s}^2$ 程度、ローリング・ピッチング・ヨーイングの各方向の角速度が $\pm 0.3\text{rad/s}$ 程度となっています。モーションシステムは動揺制御装置で制御されています。

#### ②模擬客室

列車の客室の臨場感を与えられるよう、模擬客室には実車の内装部材を使用しています。狭苦しさを感じさせないよう、在来線特急車両の2人用座席を通路を挟んで両側に、前後3列に渡って設置できる広さを確保しています。座席は付け替えたり前後間隔を変えることができるほか、通勤車両のロングシートへの交換もできます。立位客の検討のために座席を撤去することも可能です。

#### ③模擬視界装置

模擬客室の車窓の両外側には200インチの大型スクリーン(模擬視界表示装置)が設置されています。これに模擬視界発生装置で描画したCG映像を投影することで、乗客は車窓風景を見ることができます。

#### ④模擬音装置

模擬客室内には大小6つのスピーカー(模擬音再生装置)が装備され、模擬音発生装置で合成した音響を臨場感をもって再生します。

#### ⑤シミュレーター制御装置

動揺制御装置、模擬視界発生装置、模擬音発生装置を統括制御するとともに、操作者からのコマンド入力に対処します。

#### ⑥実験シナリオ作成装置

車内快適性シミュレーターで再現する、動揺・模擬視界・模擬音などをセットにしたものを実験シナリオといいます。この実験シナリオを作成するための装置が実験シナリオ作成装置です。車両条件、線路条件、速度条件などさまざまなパラメーターを設定して、自由にシナリオを作り込むことが可能です。

### 車内快適性シミュレーターを用いた研究例

#### ①複合環境の評価<sup>3)</sup>

車内快適性シミュレーターの特長のひとつは、動揺・視界・音響など複数の環境を複合してリアルな列車内環境を再現できる点にあります。この特長を活用した例が、複合環境が車内快適性に及ぼす影響を調べた研究です。

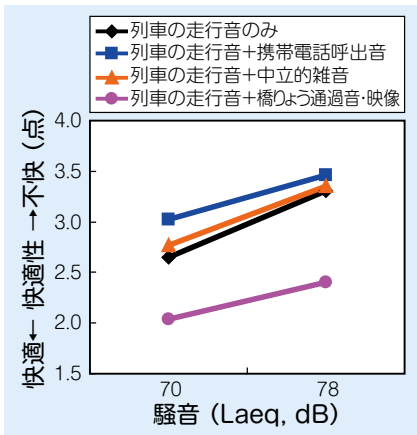


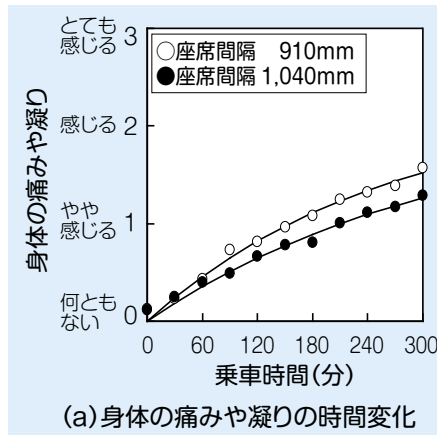
図3 騒音のタイプの違いが車内の不快感に及ぼす影響

その研究では列車客室内の振動と騒音の相互影響が検討され、その結果、たとえば左右振動を $0.01\text{ m/s}^2$ 程度低減することは騒音レベルを1dB程度低減するのに匹敵するというように、振動と騒音の間に相補的な関係があることが明らかになりました。このことから、客室内の遮音性を向上させれば振動レベルを下げたのと同等の効果が得られる可能性があります。

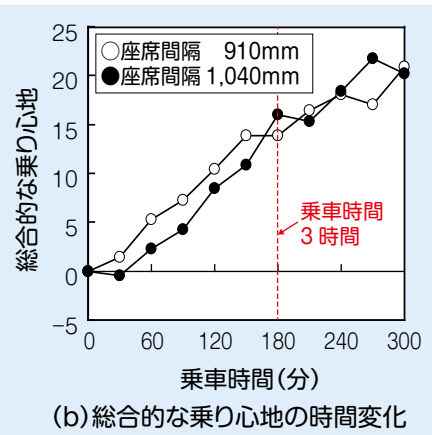
また、列車の走行音と無関係な音は乗客に一層不快に感じられる傾向があるため、たとえば携帯電話の着信音は実際より3~4dBほど大きめに感じられることや、橋りょう通過音のように短時間のうちに終わる音は乗客にはあまり不快に感じられないことなども明らかになりました(図3)。

#### ②長時間乗車時の乗り心地評価<sup>4)</sup>

たとえば東京からの旅行者が東海道・山陽方面に移動する場合に、旅行者が新幹線と航空機を選ぶ割合は、大阪や岡山では新幹線が優勢ですが、広島付近で両者はほぼ均衡し、小倉や博多になると航空機が優勢になることが知られています。これは乗車時間が長くなると、疲労が蓄積して乗り心地が低下することと関係している可能性があります。先の例では、両交通機関の選択割合が均衡するのは移動距離にして750~1,000kmのエリアに相当しますが、この均衡距離を長くできれば、



(a) 身体の痛みや凝りの時間変化



(b) 総合的な乗り心地の時間変化

図4 長時間乗車時における車内快適性の時間変化

鉄道にとっては有利になります。

そこで、車内快適性シミュレーターで振動レベルを一定に保ち、最長5時間まで、30分ごとの乗り心地の推移を調べました。その結果、全身の痛みや凝りは時間経過にもなって増加する傾向が認められまし

たが、座席間の前後距離(座席間距離)を広くとれば痛みや凝りの増加は緩やかで、乗車時間が長くなるほど座席間距離の違いによる痛みや凝りの差が拡大することがわかりました(図4(a))。

ところが、総合的な乗り心地の時間変化にはやや特異的な時間推移がみられ、乗車後2時間半までは座席間の前後距離によって乗り心地に違いがみられたのですが、乗車時間が3時間に達する頃には座席間距離の違いが見られなくなりました(図4(b))。

このことから、体の痛みや凝りなどに対しては座席間距離の影響がみられる一方、乗り心地に対しては乗車時間3時間程度までしか座席間距離の違いがみられません。したがって3時間を超えるような長時間乗車の乗り心地を改善するためには、座席間距離とは別の方策が必要と考えられます。

#### ③パソコンの利用環境<sup>5)</sup>

新幹線のような長距離列車では、ピ

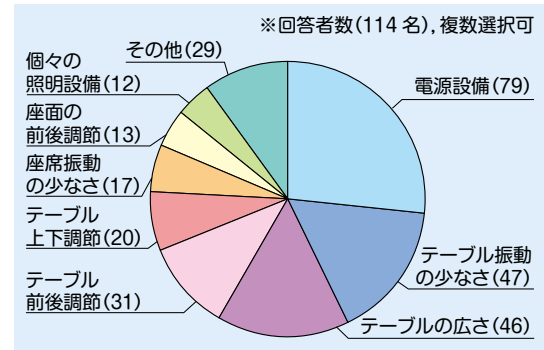


図5 列車内でのパソコン利用に関わる不満・要望

ジネス客を中心に、列車内でパソコンを使いたいというニーズがあります。そのため、パソコンの使用環境を改善することが、旅客ニーズに対応することになります。

列車内でのパソコン利用に関する不満や要望を調査したところ、パソコンを置くテーブルに関するものが多いことが明らかになりました(図5)。そこで、車内快適性シミュレーターで高速列車の振動環境を再現して、テーブルの使いやすさを検証したところ、前座席の背もたれと一体化した一般的なテーブルでは、使用者との距離が遠すぎるが使いにくさにつながっていること、テーブルを乗客側に8cm程度スライドして近づけられるようにすればその問題を解決できることが明らかになりました。

#### ④つり手や手すりの使いやすさ<sup>6)</sup>

列車内には立っている乗客も存在しますし、座っている乗客が降車のため

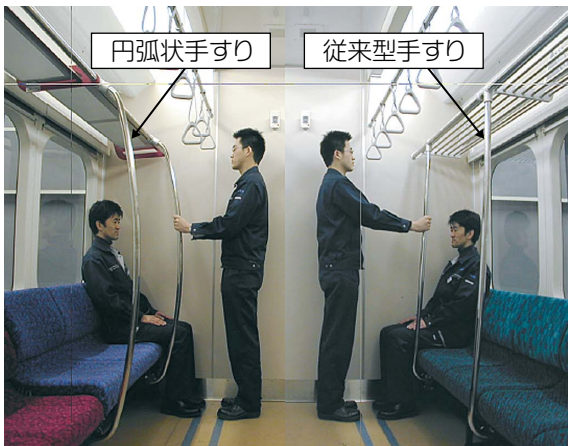


図6 車内設備の研究

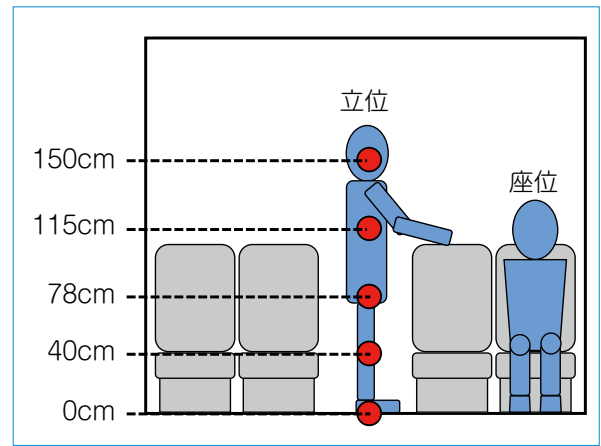


図7 車体傾斜中心位置を変えた検討  
(赤丸は車体傾斜中心の位置)

に立ち上がることも必要です。こうした用途のため、列車内にはつり革や手すりなどの支持具が設けられていますが、高齢者や身長が低い利用者の中には、今の支持具では利用しにくいという意見もみられるため、より多くの人々が使いやすいと感じるような仕様を見つける必要があります。

ロングシートの中間座席の前縁に手すりを設けた車両が増えており、身長が合わなくてつり革を使えない人々や座席からの立ち上がりに苦勞する人々に重宝がられています。しかし、座面の前縁に手すりを設置すると、立位客がつかむには位置が遠すぎますし、座位客が立ち上がる際には近すぎて、必ずしも位置が最適ではありません。そこで、円弧状の手すりの使い勝手を車内快適性シミュレーターで振動環境を再現してテストしたところ(図6)、立位客と座位客の双方にとって使いやすさが向上することがわかりました。この円弧状手すりは、現在、複数の通勤型車両に採用されています。

### ⑤車体傾斜車両の車体傾斜中心高さの影響<sup>7)</sup>

車内快適性シミュレーターの利点は、実際にはない車両を模擬できるところにもあります。

たとえば車体傾斜車両(振り子車両)の車体傾斜中心の高さは重要な設計要素の1つです。車体傾斜中心の高さが

変われば車体の運動も変わるため、それは乗り心地に影響すると考えられてきましたが、車体傾斜中心の高さは車両の設計段階でできてしまうため、それと車内快適性の関係を検討することは事実上不可能でした。

そこで、車内快適性シミュレーターを活用して、車体傾斜中心の高さを床上0cmから150cmまで5段階に離れた状態をつくり出し、車体のローリングが乗り心地に及ぼす影響について、座位と立位の被験者による体感評価を実施したところ(図7)、車体傾斜中心の高さによる乗り心地の違いは見られませんでした。数値シミュレーションによっても検証しましたが、体感評価を裏付ける結果が得られ、実際の車体傾斜車両で起こり得る程度の角速度の範囲では実質的な乗り心地の違いにはならないことが明らかになりました。この結果は、車体傾斜車両の設計時に、乗り心地の観点では、車体傾斜中心の高さを考慮しなくてよいことを意味しています。

### おわりに

近年では車両の高速化にともなって、車両振動の中に高周波成分が増え、高周波振動に対する乗り心地が問題になることがあります。車内快適性シミュレーターで模擬することのできる振動周波数はおおむね8~10Hzまでで、

これを超える振動に関しては別の実験装置が開発され、使用されています。

ここでは車内快適性シミュレーターの概要を述べるとともに、それを使って行った研究例をいくつか紹介しました。今後もニーズに合わせて車内快適性シミュレーターを活用していきたいと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 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
- 2) 鈴木浩明, 白戸宏明, 中川千鶴, 斎藤綾乃, 大野央人: 車内快適性シミュレータの活用と評価, 鉄道総研報告, Vol.20, No.3, pp.47-50, 2006
- 3) 鈴木浩明, 白戸宏明, 中川千鶴: 車内の振動・騒音が快適性評価に及ぼす影響, 日本人間工学会第45回大会講演論文集, pp.538-539, 2004
- 4) 大野央人: 長時間乗車の乗り心地を向上する, RRR, Vol.67, No.1, pp.19-22, 2010
- 5) 中川千鶴, 鈴木浩明: 列車振動がパソコン作業に及ぼす影響と最適なテーブル位置の検討, 人間工学, Vol.41, No.3, pp.137-146, 2005
- 6) 斎藤綾乃, 藤浪浩平, 鈴木浩明, 白戸宏明, 遠藤広晴, 松岡茂樹: 体格の多様性を考慮した通勤近郊車両用支持具の提案, 鉄道総研報告, Vol.20, No.3, pp.23-26, 2006
- 7) 大野央人, 遠藤広晴: ローリングの回転中心の高さと乗り心地の関連に関する再検討, 日本人間工学会第56回大会講演集, pp.198-199, 2015