

乗り心地評価用シミュレータの改良による高周波振動の加速度再現

○ [機] 林 哲也 長澤 直 (JR 東海)

Improvement of Motion Simulator to Evaluate Vibration of High Band

○Tetsuya Hayashi, Naoshi Nagasawa, (Central Japan Railway)

The Vehicle Dynamic Simulator can regenerate train ride comfort exactly. It has been used for development of Tokaido-Shinkansen effectively. On the other hand, vibration of high frequency attracts our attention as train ride comfort gets improved. To solve the problem, the performance of the Vehicle Dynamic Simulator is improved by broadening the band of motion. To realize the high performance, the model cabin is newly made as smaller size. Another point is a controller which can compute much more data. As a result, it can generate vibration up to 90Hz. Using this simulator, maintenance of railway, reduction of noise through the floor of cabin, and development of seats are promoted.

キーワード：動揺模擬装置，乗り心地，振動，再現，客室

Key Words：Motion Simulator, Train Ride Comfort, Vibration, Regeneration, Cabin

1. はじめに

著者らは鉄道車両の乗り心地を忠実に再現することのできる実験装置「車両運動総合シミュレータ」(以下本装置)を開発し¹⁾、新幹線電車を中心とした列車の快適性向上に取り組んできた。本装置は、フィールドで得られた膨大な乗り心地データを元に様々な走行条件における乗り心地を一度に比較したり、実車のデータを加工することで条件が変わった場合の乗り心地を想定したり、純粋なシミュレーションによって得られた車両の運動データから仮想的に乗り心地を体感したり²⁾といった、従来は行うことができなかった実験を行うことを可能とし、体感による乗り心地評価をより実用性の高いものとした。こうしたツールを使用することにより、例えば N700 系で採用されている車体傾斜装置やセミアクティブ制振装置の開発は、より効率的に行うことができた。

しかしながら、これまで取り組んで来たテーマが比較的ゆっくりとした加速度の変化を対象としてきたのに対して、今後は従来はあまり問題とされてこなかった比較的高い周波数の振動が、次なる課題として注目されつつある。こうした観点から見ると、本装置の、6 軸モーション装置で最高 5Hz まで、高周波振動台を併用して最高 40Hz までという加振性能は、現在では十分とはいえないものとなっていた。

そこで、これまでの実験を重ねる中で得られたノウハウと、近年の技術の進歩を反映し、本装置の加振性能の向上を図ったので、以下に紹介する。

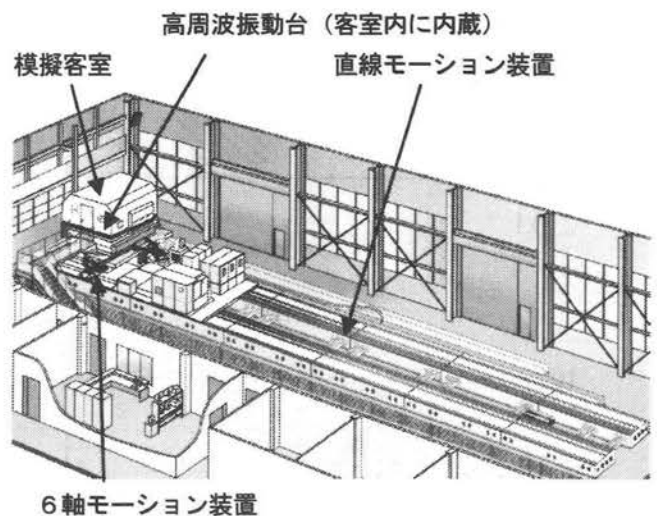


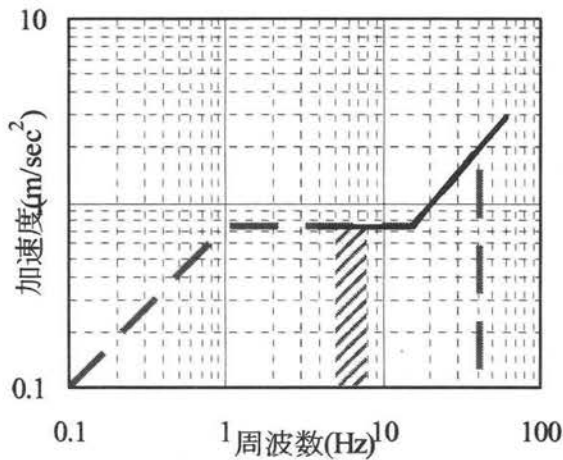
図 1 車両運動総合シミュレータの全景

2. 改良の基本方針

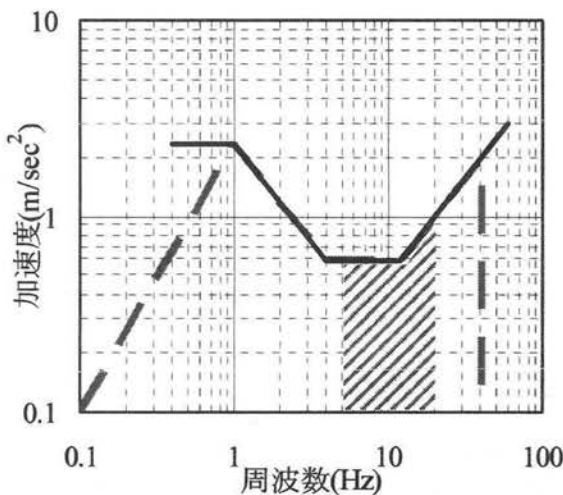
2.1 従来との比較

図 2 に本装置の加振性能を、周波数と振幅の関係で示す。基本となっているのは、旧国鉄が定めたいわゆる乗り心地基準における係数 3 (図中実線) までの範囲、すなわち 5 段階評価の「非常によい」から「よい」、「普通」、「悪い」までの 4 段階を、振幅の上での上限としている。一方、周波数については、本装置が構想段階にあった約 7 年前の時点においては、高い周波数の振動はそれ程乗り心地に影響すると考えられていなかったこと、また当時の技術ではそうした高周波の加振を精度よく行うのが困難であったこと

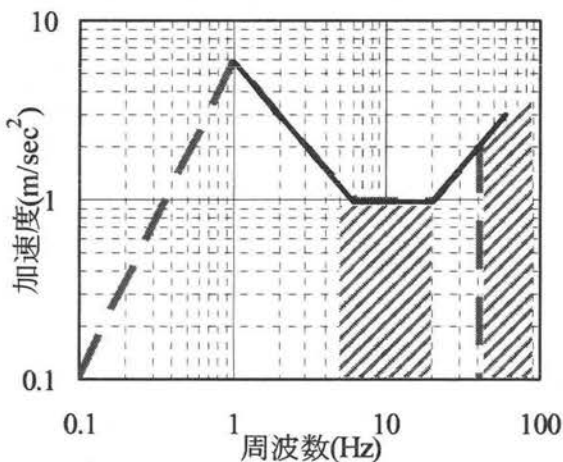
から、上限周波数は 40Hz とした。こうして定められた加振能力が、図 2 において破線で囲った範囲である。



(a) 前後



(b) 左右



(c) 上下

図 2 周波数と加振能力の関係

この中で、5Hz 以下を 6 軸モーション装置が、5Hz 以上を高周波振動台が分担することで、乗り心地の再現を行っている

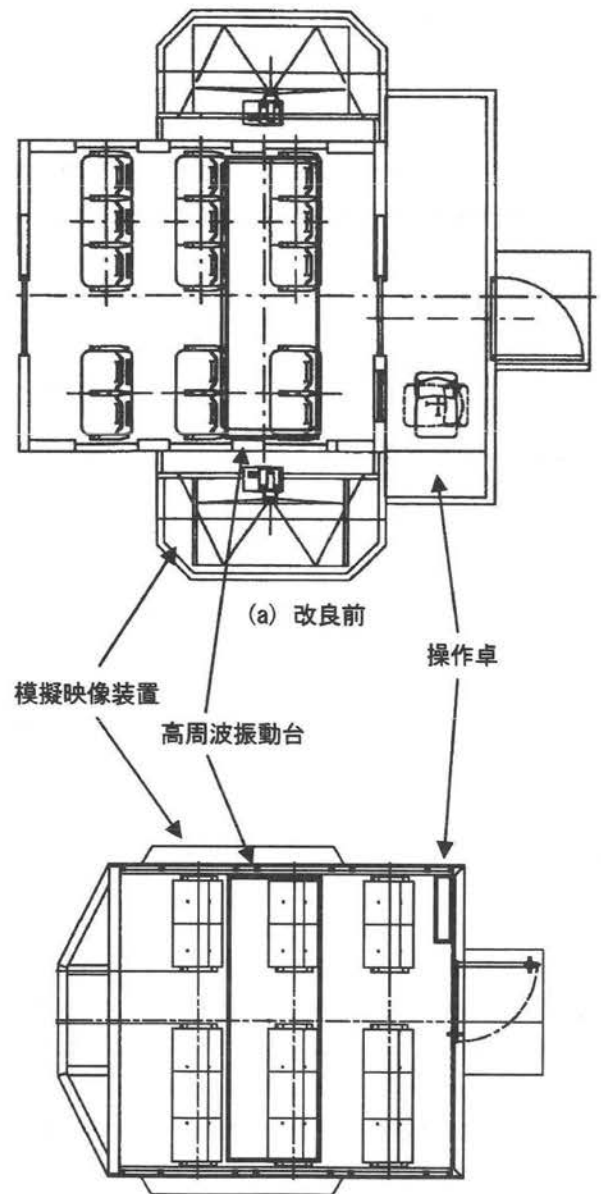
た。

今回の改良では、加振周波数帯域に関しては、2 点の変更を行っている。6 軸モーション装置については、上限周波数を 5Hz から 10Hz 程度に、高周波振動台については、上下方向の加振について上限周波数を 40Hz から 90Hz に向上している。図 2 において斜線で示した部分が、今回の改良に該当する部分となる。

2.2 主な改良点

改良にあたっては、加振装置そのものに変更を加えるのではなく、模擬客室の構造と制御装置関係の改修によって、性能向上を図っている。

模擬客室については、新規に製作しなおすことによって、小型軽量化を図るとともに、加振の妨げとなるような構造を廃している(図 3)。



(b) 改良後

図 3 模擬客室の改良前後の比較 (同縮尺)

具体的には次の通りである。

- (1) 従来後方に大きく張り出していた操作室を廃止し、操作盤の機能は客室内後方の壁面へ移設した。右側後方の座席はオペレータ席と兼用となっており、客室内から運転操作を行う場合は、座席の向きを反転する。
- (2) 従来は屋根上に液晶プロジェクターを配置し、側方に設けたミラーとスクリーンを使用して模擬映像を表示していたが、プラズマディスプレイを模擬車体壁面に直接取り付ける方式に変更したことで、映像装置の小型化を図った。また屋根上の搭載物がなくなったことから、手すり等も不要となり、すっきりとした外観となった。
- (3) 全体の重心バランスを考慮し、模擬客室全体を後方へ 1m ずらした。この結果、従来は高周波振動台は 3 列目の座席にのみ設置であったのが、改良後は 2 列目が振動台の上に位置するようになった。また後方の仕切壁は、搭乗中は視界に入らないことから、実車と同じ見付にはこだわらないこととし、3 列目の座席より後方の客室寸法を縮小した。

制御装置については、制御データのサンプリング周波数を従来の 200Hz から 500Hz に向上するとともに、大容量のデータを取り扱うのに十分な性能を有した計算機の導入を行った。

3. 改良後の装置構成

前述の改良を行った結果、装置の諸元は表 1 の通り向上した。なお新規に模擬客室を製作するのに合わせて、従来は 700 系新幹線電車の普通車を模していた内装を改め、最新の N700 系新幹線電車の内装とした。(図 5)



図 5 模擬客室内装 (普通車)

また従来は普通車のみだった腰掛も、グリーン車のものも設置できるようにした。この場合、前列 2 列のみを使用することができ、実車と同じ 1160mm のピッチで取り付けることができる。また実車同様のカーペットも用意されており、振動の体感上は完全にグリーン車と同じ状態を作ることができる。(図 6)

表 1 に、改良前後の諸元の比較を示す。



図 6 グリーン車腰掛とカーペットを設置した状態

表 1 改良前後の性能比較

(a) 6 軸モーション装置

	改修前	改修後
前後	5Hz	8Hz
左右	5Hz	11Hz
上下	5Hz	11Hz

(b) 高周波振動台

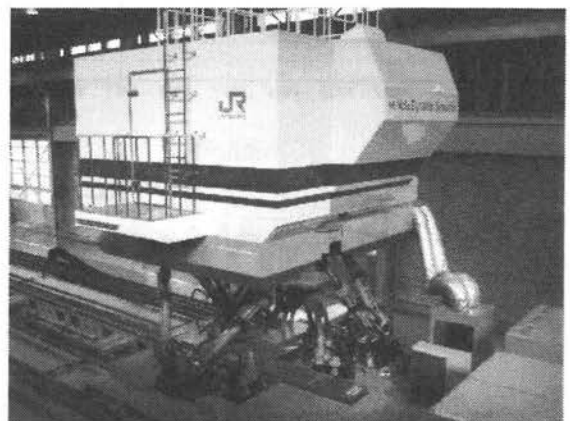
	改修前	改修後
前後	40Hz	40Hz
左右	40Hz	40Hz
上下	40Hz	90Hz

(c) 制御装置

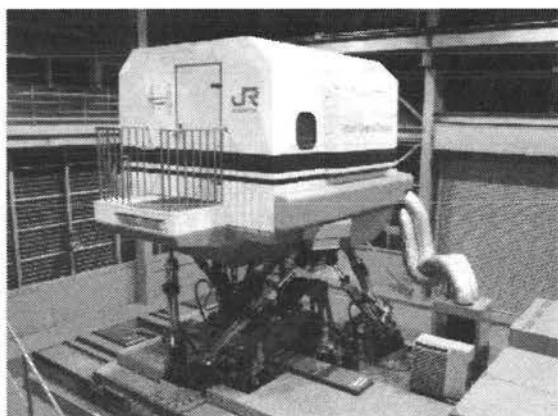
	改修前	改修後
サンプリング	200Hz	500Hz

(d) 模擬客室

	改修前	改修後
ベース車両	700系	N700系
腰掛	普通車 × 3列	普通車 × 3列 または グリーン車 × 2列
重量	4.5t	3.3t
操作卓	併設の操作室内	模擬客室内
模擬映像装置	反転式リニア プロジェクション 100インチ × 2台 (左右1列)	プラズマディスプレイ 42インチ × 4台 (左右2列)



(a) 改良前



(b) 改良後

図 7 装置の外観

図 7 は装置の外観を、ほぼ等縮尺で比較したものである。手前に張り出していた機側操作室が廃止されていること、側方に張り出していた映像装置のカバーが、大幅に小型化されていることが見てとれる。

4. 加振性能

本装置の改良の目標であった、加振性能の向上について検証を行った。

図 8 は、実車データの再現を行った際の、再現性を、時系列データで比較したものである。いずれの図でも、濃い線で表された方が、再現の目標となるべき実車データに相当する加速度波形である。これに対して、薄い方の線は本装置で再現された加速度波形である。いずれの場合でも、再現された波形は目標とすべき波形に対して、よく似た特徴を有している。但し改良の前後では、目標とすべき波形自体が装置の能力に合わせて帯域カットされており異なるため、両者を直接比較することは適当でない。そこで、ゲイン特性で再現性を比較したのが図 9 である。

改良前の状態では、6 軸モーション装置による加速度再現を行っている 4 から 5 Hz 付近でゲインが落ち込んだあと、

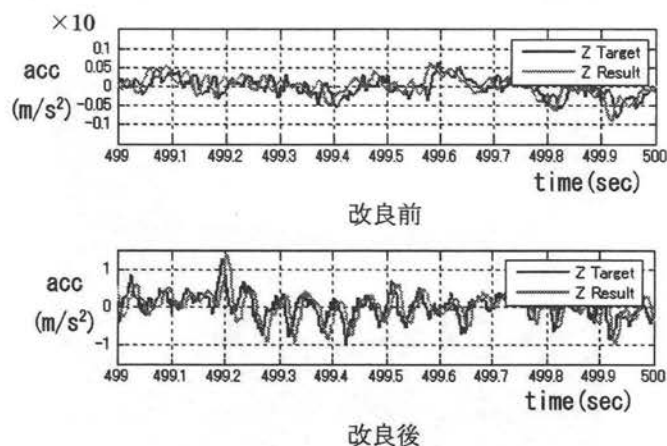


図 8 時系列波形による再現性の比較

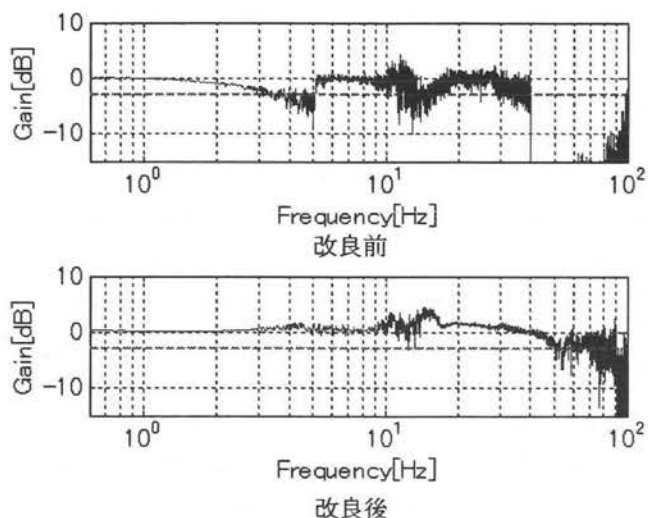


図 9 周波数特性の比較

高周波振動台が加速度の再現を行う 5 Hz 以上では再びゲインがフラットに保たれているが、40 Hz を境に加速度の再現は行われなくなる。これに対して、改良後の状態では 11 Hz 付近で 6 軸モーション装置と高周波振動台の分担範囲の境界が存在しているが、ゲイン特性上はほぼフラットな状態を保っている。そして、目標とした仕様上の 90 Hz 付近まで、-3 dB 以上のゲインを保っていることがわかる。

5. まとめと今後の取組み

車両の乗り心地を忠実に再現する実験装置である「車両運動総合シミュレータ」を改良し、加振周波数帯域の拡大を行った。その結果、所期の目標通りの加振性能を有することが確認できた。従来から取り組んでいたテーマに加えて、今後は次のような課題にも取り組んでいく。

(1) 軌道検査方法などの開発

軌道の状態が乗り心地に影響することは以前から知られていたが、相互の関係に注目した軌道検査方法などの軌道関係の開発にも、本装置を活用する。

(2) 車体構造の最適化

車両の床下に装備された機器類から発生する振動が、客室の床に伝わりにくいような、床の部材の改良やクッションなどの開発を行う。

(3) 腰掛の開発

高い周波数の振動も吸収できる、より座り心地のよい腰掛を、実車と同じ振動環境下で効率的に開発していく。

参考文献

- 1) 林、坂上、森下、長澤、那須、機械学会 2003 年度年次大会、211-212.
- 2) 林、TRANSLOG2005、121-124.