

左右乗り心地向上に関する技術検証

○ 鈴木 和馬 山之口 学 石原 鋼 (西日本旅客鉄道株式会社)

Technical testing of improving lateral riding quality

○ Kazuma Suzuki, Manabu Yamanokuchi, Tsuyoshi Ishihara (West Japan Railway Company)

For developing a bogie into the next stage, we produced a conventional test bogie to improve bogie quality in passive system. The lateral vibration at the high-speed run by the railway carriage is the main factor of deterioration of riding quality. To improve that, one of the methods to reduce vibration from bogie to body is lower lateral stiffness of air springs. We describe an outline of the tests that we verified to improve lateral riding quality.

キーワード：試験台車，乗り心地，空気ばね，左右動ストッパ

Key Words : test bogie, riding quality, air spring, lateral displacement stopper

1. はじめに

左右の乗り心地を向上させるための着目点として、台車一車体間の左右支持装置の剛性、減衰要素、及び車体間の拘束等が挙げられる。当社のこれまでの取り組みの中で、剛性については、ストッパ当たりを防ぐために、空気ばねの左右剛性を大きくしてきた経緯がある。減衰については、振動を抑えるために左右動ダンパの減衰特性の変更や、セミアクティブ制御の実施によって一定の効果が認められた。また、車体間拘束については車端ダンパを取り付けて車体相対振動を低減させることで乗り心地が向上することを確認した。

乗り心地の更なる向上を目指して実施した車両運動調査により、223系においては車体ヨーイングが顕著であることがわかった。車体ヨーイングとは図1に示すような、高速走行時に車端が左右逆位相で振動するモードである。感度分析手法により、ヨーイングを低減させるには、空気ばね左右剛性を小さくすることが効果的であると分かった。そのため、空気ばねの左右剛性に着目し、ストッパ当たりの影響についても検討した。在来線試験車 U@tech による乗り心地向上の技術検証について以下に報告する(図2)。

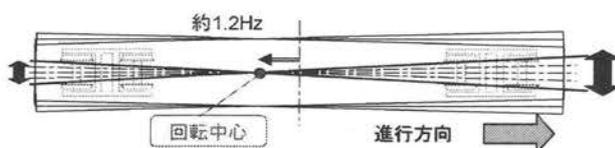


図1 車体ヨーイングモード

2. 左右乗り心地向上の考え方

2.1 223系による車両運動調査

当社の在来線近郊型車両であり 130km/h 運転を行う 223

系にて、高速走行中の車両運動を把握するために、走行試験を実施した。それにより、左右の乗り心地に関して、以下の2点が主な課題として判明した¹⁾。

- 高速走行時における直線の左右の揺れが大きい
- 車体ヨーイングによる動揺が支配的である

車体ヨーイングの周波数は約1.2Hzであり、さらに1.2Hzは空気ばね左右の固有周波数でもあるため、乗り心地悪化の原因となっている。

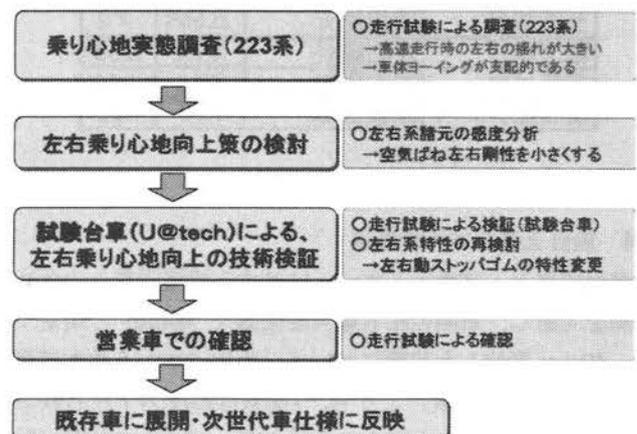


図2 左右乗り心地 取り組みのステップ

2.2 左右振動の伝達メカニズム

鉄道車両がレール上を走行する際には、軌道からの振動が台車を経由して車体に伝達する(図3)。軌道から輪軸に振動が伝達し、軸ばねを経由して台車枠が加振される。そして台車枠から、空気ばねや左右動ストッパゴム等の支持装置を経由して車体へと振動が伝わる。左右動ストッパゴ

ムは、中心ピンとの間に隙間を設けて台車枠に取り付けられており、左右方向の過大な変位を抑制する。お客様が感じる、車体での左右乗り心地を向上させるためには、振動の経路に着目して、絶縁させることが効果的であり、車体・台車枠を支持する構成要素のうち、最も効果のある部品を選定することを考える。

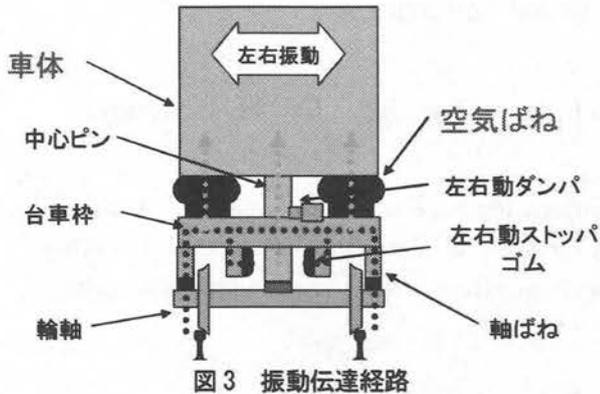


図3 振動伝達経路

2.3 左右系諸元の感度分析

乗り心地向上のために、どの要素がどの評価項目にどれだけ影響を与えるかということ、感度分析手法を用いて検討した(表1)。左右系に関係する部品の諸元について、値を半分(△50%)にしたものと2倍(×2)にしたものについて、加速度が元の値の何倍になるかをシミュレーションした。

これにより、空気ばねの左右剛性を小さくすることで、左右の乗り心地が最も向上することが判明した。

表1 左右系感度分析

【130km/h 1.2Hz加振】 加速度の増減割合

台車部品	変更諸元	△50%	×2
軸ばね	左右剛性	1.04	0.98
空気ばね	左右剛性	0.69	1.43
左右動ダンパ	減衰係数	1.10	1.00

2.4 設計上満たすべき条件

車両限界と、プラットホームに対する建築限界との余裕空間を考慮し、車両の左右最大変位量を 40mm と規定する。40mm 変位した状態において、車体にかかる最大荷重(満車重量×加速度)よりも、「空気ばね反力+左右動ストップゴム反力」が上回るようにする。図4に車体断面図と作用する力のイメージを示す。

空気ばね左右剛性を小さくすると負担する反力が減るため、左右動ストップゴムと併せて、必要な反力を満たすように諸元を設計することを考える。即ち、空気ばね左右剛性を小さくすればストップゴム剛性を大きくする必要がなくなることになる。

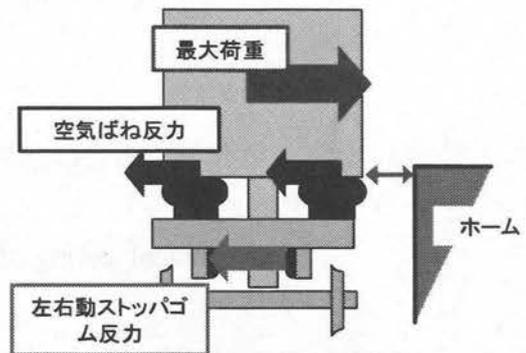


図4 車両にかかる力のイメージ

2.5 車体支持装置の諸元について

空気ばね左右剛性を小さくするに当たり、剛性を 223 系と比較して構造上最大限小さく(△34%)した「低横剛性空気ばね」を製作して、乗り心地への影響度を調査した。その際に使用する左右動ストップゴムは、反力を確保する必要があるため高剛性タイプを用いることとした(図5)。高剛性タイプは反力の立ち上がり急なため、隙間を多く取ることができる。

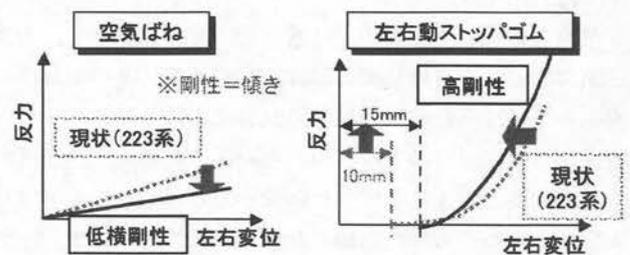


図5 変位-反力特性図

3. 定置回転試験

本線での様々な走行条件を再現させるため、223系台車と試験台車の2種類の台車について、軌条輪回転試験台にて定置試験を実施した。

3.1 試験目的

空気ばね条件を変更して比較することで、高速走行中のヨーイング抑制の効果を確認する。

3.2 車両条件

U@tech 試験台車に低横剛性空気ばねを取り付け、標準諸元である 223 系台車と比較した。

3.3 試験結果

両台車の実軌道不整加振結果(図6)において、波形は前および後台車直上の車体左右加速度の差を示しており、車体ヨー角加速度を間接的に示している。これにより、1.1Hzと1.5Hz付近の加速度ピークが、試験台車では223系台車よりも減少していることが確認できた。実際の走行とピーク周波数が異なるのは、軌条輪走行と本線実走行との、車輪踏面との接触状態が異なるためであるとする²⁾。

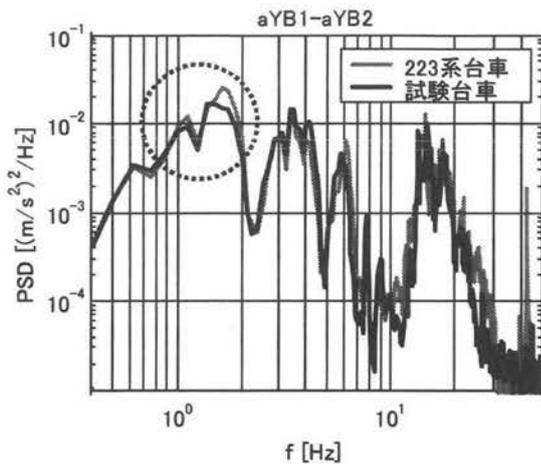


図 6 実軌道不整加振試験結果 (速度 130km/h)

4. 本線走行試験の考え方

4.1 走行試験で確認をすること

左右系のばね諸元を最適化するに当たり、直線および曲線について走行試験にて明らかにすべき事項について以下に述べる。

左右動ストッパゴムと中心ピンとの間には隙間が設けられているため、直線の乗り心地は主に空気ばね剛性によって決まる。また、実際の営業車ではお客様が乗った状態で走行するため、荷重がかかった際にどのような影響が出るか検討する必要がある。

曲線では車体に遠心力が働くために車体が外軌側に変位し、左右動ストッパゴムと中心ピンが常に接触して振動の伝達経路が増える。接触した状態では、空気ばねと比較して左右動ストッパゴムの負担する反力が大きくなる。そのため、左右系の諸元を変更する際にはストッパ当たりについても考慮する必要がある。さらに、荷重により遠心力が増大した際の乗り心地への影響についても検討する必要がある。

4.2 走行試験条件

前項の考え方に基づき、走行試験における車両条件について以下に整理した。

- 直線での乗り心地向上効果確認
 - ・空気ばね左右剛性を変更
 - ・空車条件と荷重積載条件にて比較
- 曲線でのストッパ当たりによる影響
 - ・左右動ストッパゴム剛性を変更
 - ・空車条件と荷重積載条件にて比較

これら区間の評価について、在来線試験車 U@tech の Mzc 車 (図 7) による走行試験を実施し、効果の検証を行った。

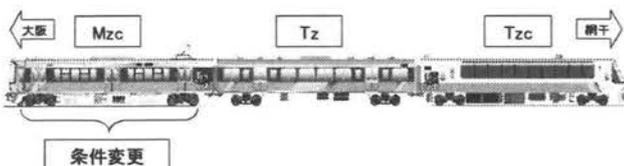


図 7 在来線試験車 U@tech

4.3 評価項目

乗り心地については、以下の 2 種類の項目で評価を行った。

(1) 車体左右加速度波形

Mzc の車体の台車直上にひずみ式加速度計を貼り付け、車体左右加速度の波形を比較した。

(2) 乗り心地レベル (Lt)

直線では 2km 区間での評価、曲線では観測時間が短いため、条件ごとの Lt 相対評価としている。

5. 走行試験結果および考察

5.1 直線

(1) 空気ばねの影響

Mzc の空気ばね条件を低横剛性タイプと 223 系仕様とで比較した加速度波形、乗り心地レベルを示す (図 8, 9)。直線区間では、低横剛性の空気ばねを採用することで左右の車体加速度が低減し、乗り心地レベルも 3dB 向上した。台車からの振動が車体に伝達しにくくなったために左右乗り心地が向上したと考える。

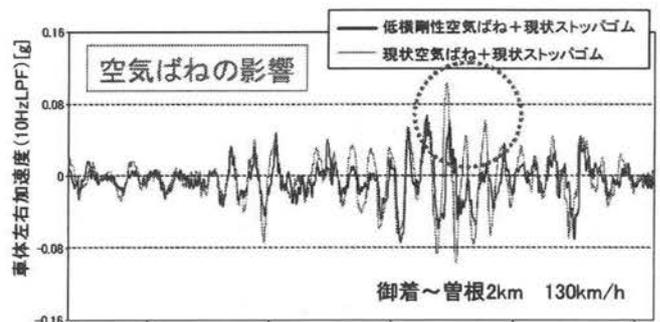


図 8 空気ばねによる波形比較 (直線)

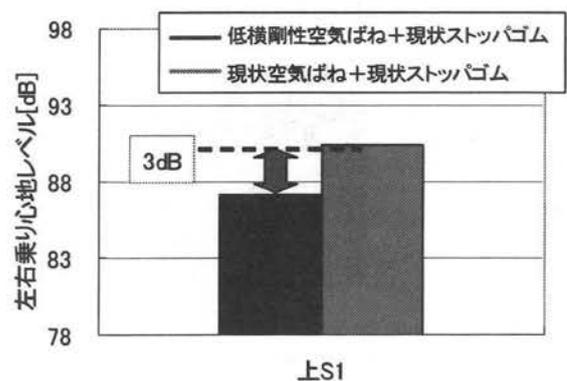


図 9 左右乗り心地レベル (直線)

(2) 荷重積載による影響

Mzc 車に 10t のウエイトを積載した乗り心地走行試験の加速度波形を示す (図 10)。重量増加で車体が安定し、軌道からの加振に対して車体が受ける振動が減り、左右加速度が低減したものと考える。乗り心地レベルは 1.3dB 向上した。

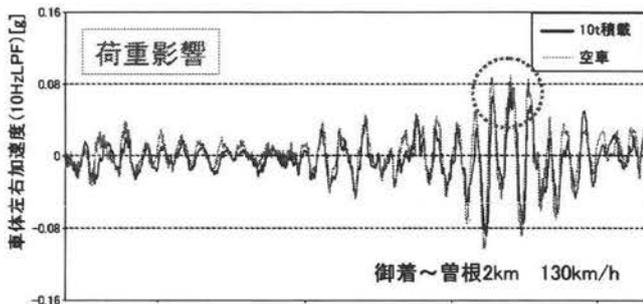


図 10 荷重影響による波形比較 (直線)

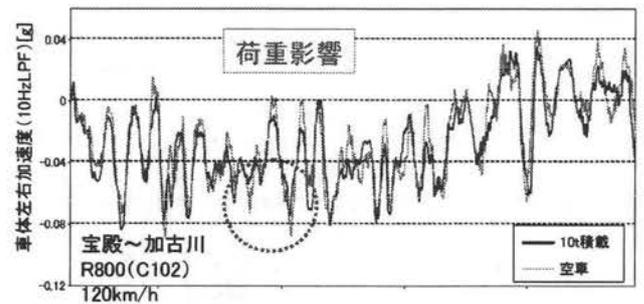


図 13 荷重影響による波形比較 (曲線)

5.2 曲線

(1) 左右動ストップゴムによる影響

Mzc の空気ばね条件を低横剛性タイプとし、左右動ストップゴム条件を変更することで、曲線での評価を行った (図 11, 12)。曲線においては、左右動ストップゴム剛性を増加させた影響により左右加速度が増加し、乗り心地レベルも 3.5dB 悪化する結果となった。高剛性タイプは反力の立ち上がり急峻であり、台車から車体へ伝わる反力が大きくなったために車体の振動が増えたと考える。

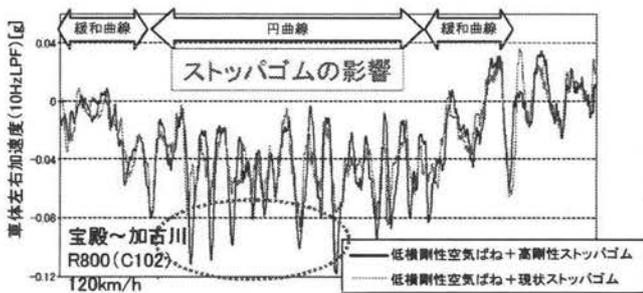


図 11 左右動ストップゴムによる波形比較 (曲線)

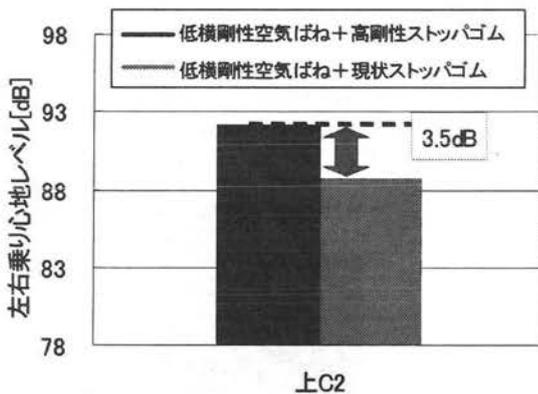


図 12 左右乗り心地レベル (曲線)

(2) 荷重積載による影響

直線と同様、10t 荷重を載せて曲線で乗り心地評価を行った (図 13)。遠心力の増加による乗り心地の悪化が懸念されたが、車体加速度は減少し、乗り心地レベルにおいても 3.0dB 向上した。遠心力の増加分より、車体が安定した影響が大きかったと考える。

6. まとめ

走行試験にて明らかになった項目を以下に示す。

- ・直線では、空気ばねの左右剛性を小さくすることで台車から車体に伝わる振動が減り、乗り心地が向上した
 - ・曲線では、左右動ストップゴム剛性が大きいため台車からの振動伝達が増え、乗り心地が悪化した
 - ・荷重積載は、乗り心地向上側に作用する
- これらより、車体支持装置の望ましい特性としては、以下のように整理することができる。

- 直線区間では、空気ばね左右剛性を小さくする
- 曲線区間では、左右動ストップゴム反力の急峻な立ち上りを避ける
- 左右 40mm 変位時における、空気ばねと左右動ストップゴムの反力和が、現状と同程度であること

7. 今後の展開

パッシブ (非制御系) であることを前提条件として、左右系としての望ましい特性を把握することができた。今後は低横剛性空気ばねによる乗り心地向上効果を活かし、反力の低下を補うことを考えて左右動ストップゴムの特性を変更 (図 14) する。その効果について走行試験にて確認し、曲線での乗り心地悪化を防ぐことを目指す。

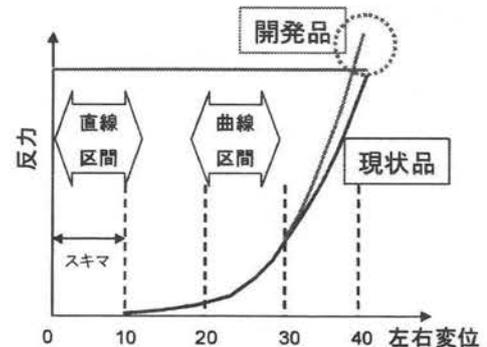


図 14 左右動ストップゴム特性図

参考文献

- 1) 真野辰哉, 角井真哉: 「在来線次世代走り装置開発に向けた車両運動調査結果の概要」, 鉄道車両と技術, No.97,98 (2004.6, 2004.7)
- 2) 足立雅和, 鈴木貢, 飯田忠史: 「車両試験台における新しい軌道不整模擬加振手法の提案」, 鉄道総研報告 Vol.19, No.4, 2005.4