

# 脱線を防止する構造をもった 鉄道車両の台車を開発する



**鈴木 貢**  
Mitsugi Suzuki  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
主任研究員



**本堂 貴敏**  
Takatoshi Hondo  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
副主任研究員



**國行 翔哉**  
Shoya Kuniyuki  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
研究員



**梅原 康宏**  
Yasuhiro Umehara  
車両技術研究部  
車両運動研究室  
主任研究員



**鴨下 庄吾**  
Shogo Kamoshita  
車両技術研究部  
車両振動研究室  
上席研究員

## はじめに

走行する鉄道車両の車輪とレールの間にはさまざまな力が作用し、常時はこれらの力がバランスを取りながら安全に走行しています。ところが、何かのきっかけでこのバランスが崩れると、車輪が転がりながらひとりでにレールに乗り上がり、最悪の場合、脱線にまで至るおそれがあります。このように起こる脱線を乗り上が

り脱線とよんでいます。乗り上がり脱線の発生には車輪とレール間に作用する力(図1)が深く関与しており、輪重とよぶ鉛直方向の力が小さくなると、横圧とよぶ水平方向の力が大きくなると、そしてこの両方が同時に起きるときに乗り上がり脱線の危険性が增大すると考えられています。このことを逆にいえば、輪重を小さくさせないこと、横圧を大きくさせないことで乗り上がり脱線を防止できることを意味します。この考えに基づき乗り上がり脱線を防止する構造をもった脱線しにくい台車(図2)を開発しました。今回は、脱線しにくい台車の概要と実用化に向け実施した耐久性調査試験の結果について紹介します。

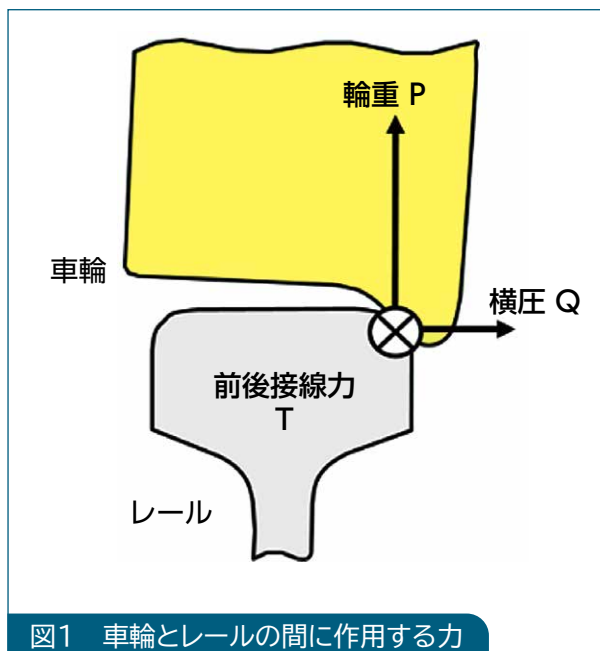


図1 車輪とレール間に作用する力

## 脱線しにくい台車の概要

乗り上がり脱線を防止するためには、輪重を小さくさせないこと、また横圧を大きくさせないことが重要となります。脱線しにくい台車は、輪重減少抑制機構を有する「輪重減少抑制台車<sup>1)</sup>」に横圧低減機構である「アシスト操舵システム<sup>2)</sup>」を組み込むことで、輪重減少の抑制



図2 脱線しにくい台車

と横圧の低減の両面から乗り上がり脱線に対する安全性を向上した台車となっています。

輪重減少抑制台車は、左右の側ばりと横ばりをすべり軸受を用いた回転機構により接合した3分割構造の台車枠(図3)を採用することで、緩和曲線部などの軌道のねじれが大きな箇所<sup>【参考】</sup>で生じる輪重減少<sup>【参考】</sup>を抑制可能な台車です。台車枠の回転機構により左右の側ばりが横ばり

に対しピッチ方向へ回転運動することが可能となっており、この回転運動により台車と軌道面とのねじれを台車枠が吸収することで輪重減少を抑制します。一般的な構造の台車に比べ出口側緩和曲線部での輪重減少を約3割抑制することができます。

### 【参考】 軌道のねじれと輪重減少

鉄道車両が緩和曲線のような平面的なねじれのある軌道上を走行する際、各車輪がこのねじれに追従しようとして、特定の箇所の軸ばねが伸びてしまうことがあります。このとき、台車は三点支持のような状態となり、軸ばねの伸びた箇所の輪重が小さくなるすなわち輪重減少が起こります。輪重減少抑制台車では、軸ばねとあわせ台車枠の側ばりが回転し軌道に追従することで、特定の箇所で生じる軸ばねの伸びを小さくし、輪重減少を抑制します。

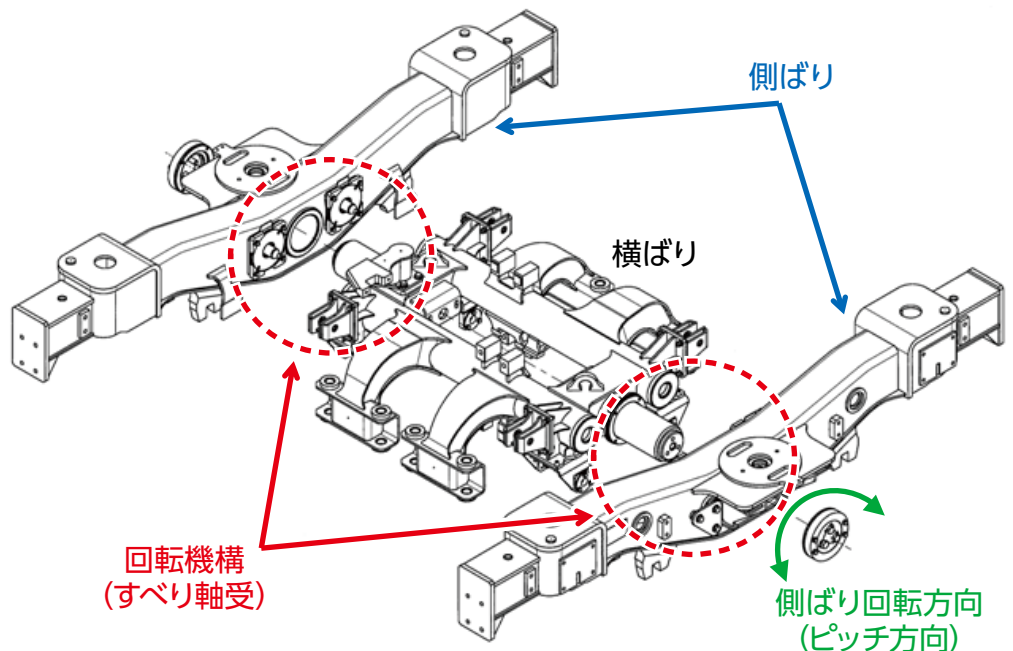


図3 回転機構を有する台車枠

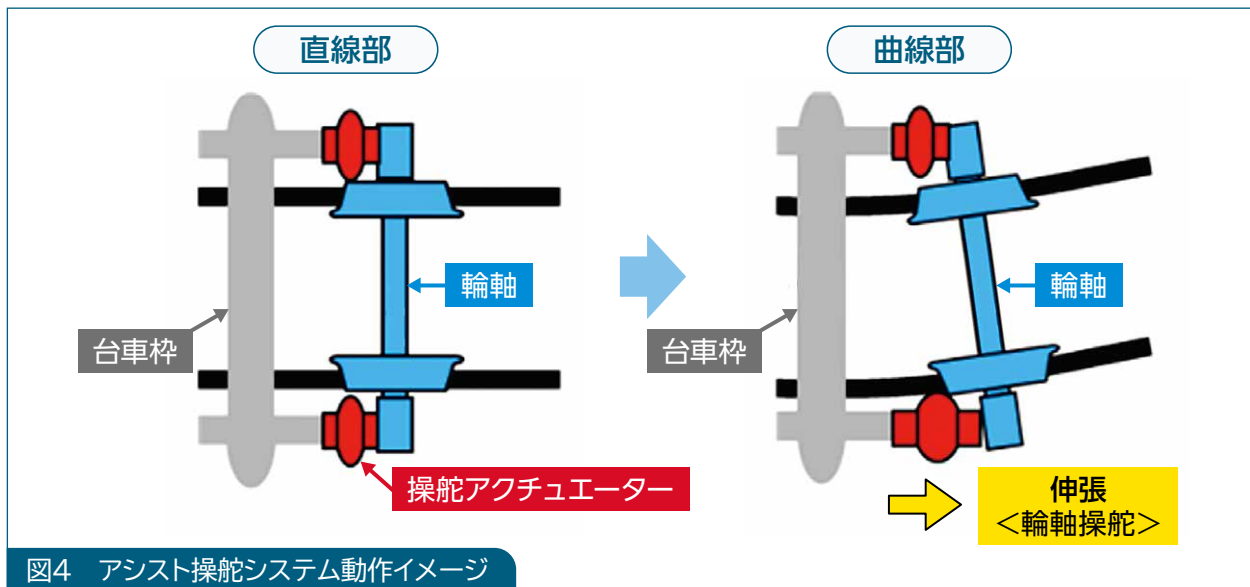


図4 アシスト操舵システム動作イメージ

アシスト操舵システムは、曲線部で発生する横圧の低減を図る輪軸操舵システムです。台車枠と軸箱との間に取り付けたアクチュエーターを動作させ、曲線に沿って走行するよう輪軸を操舵(図4)することで横圧を低減します。この操舵動作により、一般的な構造の台車の場合に比べ、急曲線部における横圧の平均値を約8割低減することができます。脱線しにくい台車の実用速度域での走行性能を調査するため、外部の試験線において走行試験を実施しました<sup>3)</sup>。その結果、一般的な構造の台車に比べ急曲線部における脱線係数<sup>※参照</sup>を約6割改善できること

がわかりました。また、振動乗り心地や走行安定性などは一般的な構造の台車と同程度であることなどもわかりました。これらのことから、脱線しにくい台車は期待していた走行性能を有することを確認しました。

#### 脱線係数

横圧を輪重で除したもので、脱線に対する安全性の指標として用いられます。この値が、限界脱線係数(車輪フランジの角度と車輪/レール間の摩擦係数により求まる脱線の始まる限界値)に比べ、小さい場合には脱線は起こらず、大きい場合には脱線する可能性がある、ことを示します。

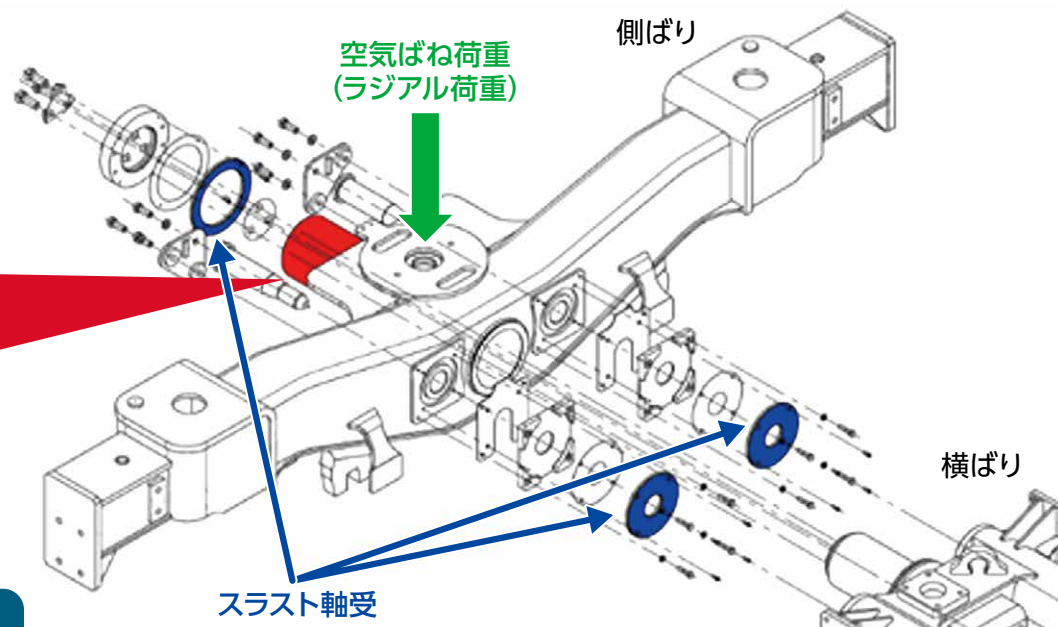
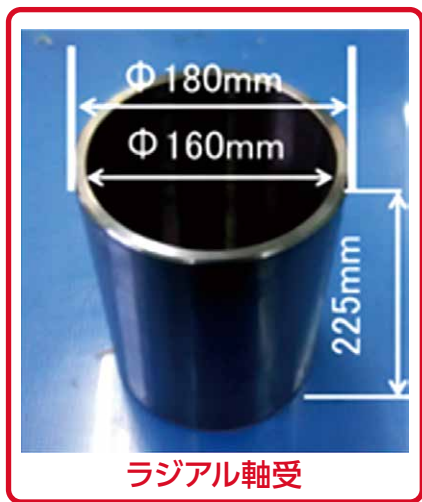


図5 台車枠回転機構部のすべり軸受

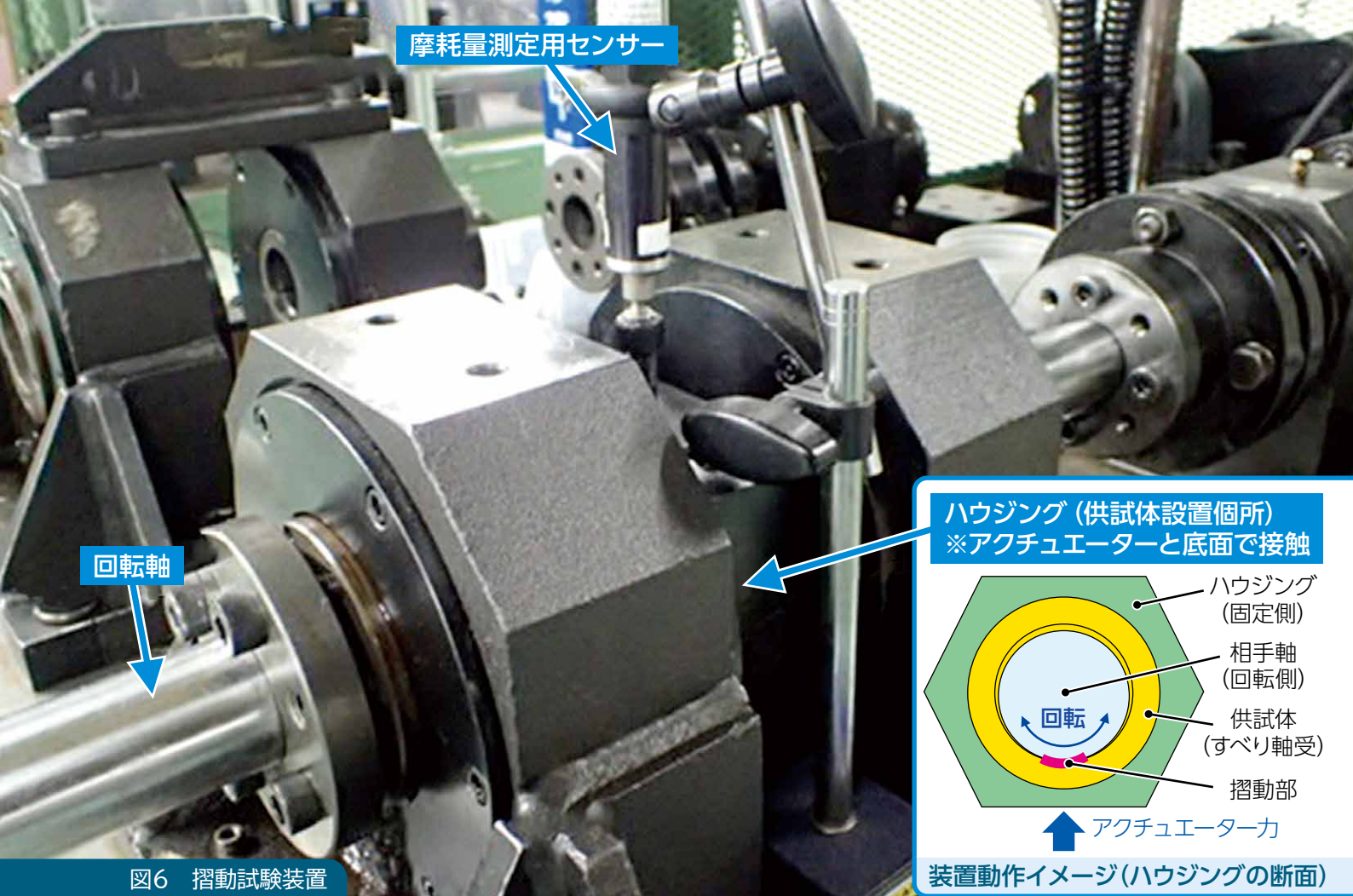


図6 摺動試験装置

## 耐久性調査

脱線しにくい台車の実用化に当たっては、期待する走行性能の実現はもとより、一般的な鉄道車両用の台車と変わらぬ耐久性が要求されます。この要求を満足するため、脱線しにくい台車では、実績のある一般的な台車部品を多く使用しています。その一方で、本台車の特長である輪重減少抑制機構や横圧低減機構を構成する部品のなかには本台車特有の部品が存在します。とくに、輪重減少抑制機構である台車枠回転機構部に採用したすべり軸受(図5)のうちラジ

### ラジアル方向とスラスト方向

軸に対し垂直な方向をラジアル方向、軸と同一の方向をスラスト方向といいます。ここでは、摺動面に垂直方向の荷重が作用しているすべり軸受をラジアル軸受とよんでいます。

### 摺動

すべらせて動かす動作のことをいいます。ここでは、ラジアル軸受と回転軸の相対運動が摺動にあたります。

アル方向<sup>※参照</sup>のすべり軸受(以下、ラジアル軸受と記す)は交換の際に台車の分解が必要なため、少なくとも台車を分解して行う定期的な検査までの間すなわち台車検査周期(以下、台検周期と記す)の耐久性が必要となります。そこで、<sup>しゅうどう</sup>摺動試験<sup>※参照</sup>により台検周期相当時間までの耐久性、および振動環境下での耐久性について調査しました。

### (1) 台検周期相当時間の耐久性

台検周期相当の耐久性を調査するため、摺動試験装置(図6)を用いて、台検周期相当時間の摺動試験を行ないました。この装置では、ラジアル軸受の供試体をハウジングとよぶ固定部に組み込むとともに、そこに相手軸に相当する棒材を挿入し、アクチュエーターによりハウジングの底面を押し上げ両者を密着させ、密着面(以下、摺動面とする)に所定の面圧を発生させます。この状態で所定の速度と角度で相手

### (a) 試験条件

軸受	材質	オイレス #2000
	寸法 (mm)	内径40, 外径50, 長さ25
相手軸	材質	S45C(硬質Crメッキ)
	寸法 (mm)	直径40
負荷面圧 (N/mm <sup>2</sup> )		51.6
摺動速度 (m/s)		0.0055
揺動角度 (deg)		±2
試験時間 (h)		1,890 (60万km相当)

### (b) 試験結果

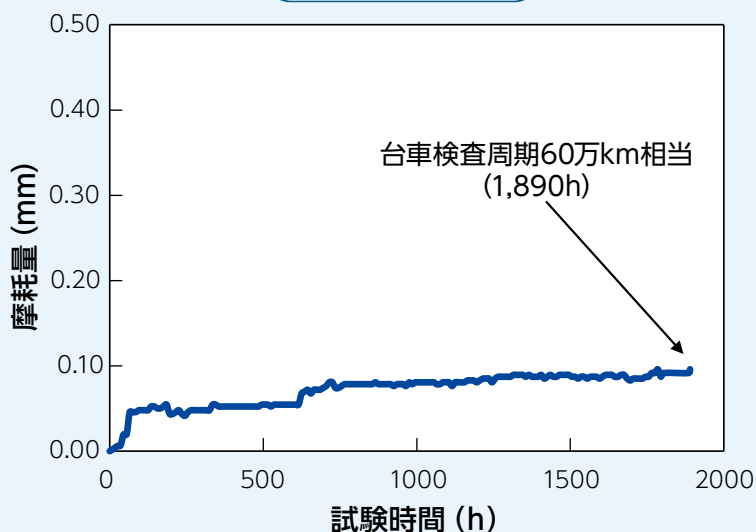


図7 台車検査周期相当時間の摺動試験の結果

軸を回転方向へ連続的に揺動させることで摺動状態を模擬します。試験条件を図7(a)に示します。ここで、負荷面圧は供試体と相手軸とを密着させる単位面積あたりの力、摺動速度は供試体と相手軸との相対速度、揺動角度は回転軸の回転角、のことです。また、この試験での一般的な台検周期60万kmに相当する試験時間については1,890時間としました。これらの条件については、先行研究での各種調査結果をもとに決定しました。摺動試験により得られた試験時間とラジアル軸受の摩耗量の関係を図7(b)に示します。試験時間に対する摩耗量の変化から、定常摩耗状態に移行した100時間程度経過後から摩耗量の変化は緩やかになっており、その後、摩耗量の急増もないことがわかりました。また、台検周期相当1,890時間時のラジアル軸受の摩耗量は0.1 mm程度と潤滑層厚さ1 mmに比べ十分に小さい値であることがわかりました。なお、図中では、摩耗量の減少を示す変化がみられますが、これは摩耗量を測定するセンサーが装置の振動をとらえたことによるものです。最終的な摩耗量については、供試体を装置

から取り外した状態での確認も行っており、その結果が妥当であることを確認しています。さらに、ラジアル軸受と相手軸との間の摩擦係数も試験を通じて0.1程度で安定しており、機能上の問題もないことがわかりました。以上のことから、ラジアル軸受は台検周期に対する耐久性を有していることを確認しました。

### (2) 振動環境を考慮した耐久性

ラジアル軸受の摺動面には車両の走行にともなって生じる振動が加わることになり、この振動がラジアル軸受の耐久性に影響を与える可能性があります。これまで、摺動面に生じる振動がすべり軸受の耐久性に与える影響についてはわずかなものであるというのが一般的な考えでした。このため、その影響については、一定量の摩耗や準静的な振動試験により得られた摩耗を考慮する、もしくは、一切考慮しないものとして整理されてきました。しかし、近年、単純な摺動条件だけではすべり軸受の摩耗を十分に説明できない事例が散見されました。そして、すべり軸受の使用環境によっては、摺動面の振動がその要因となり得る場合があることも

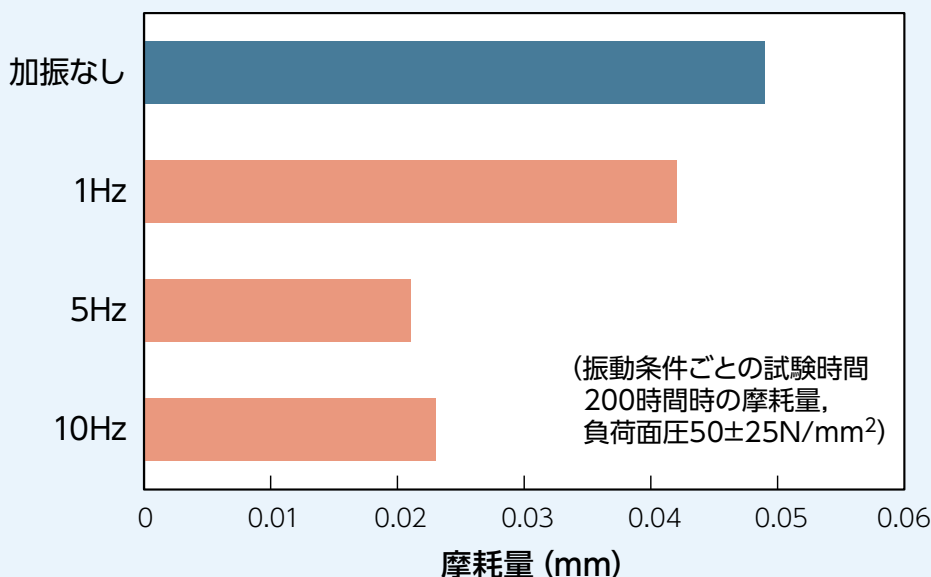


図8 振動条件を考慮した摺動試験の結果

わかりました。このことを受け、軸受メーカーで摺動面の振動を模擬可能な摺動試験装置が開発されました。そこで、この試験装置を用い走行中の振動がラジアル軸受の耐久性に与える影響を調査しました。本試験で模擬する振動条件については、走行試験による台車枠回転機構部近傍での振動環境の調査結果ならびに試験装置の性能上の制約を勘案し決定しました。この際、摺動条件については、試験時間を200時間としたほかは台検周期相当時間の耐久性調査試験での条件とおおむね同じ条件としました。試験の結果、摺動面に振動がある条件でのラジアル軸受の摩耗量は、振動がない場合の摩耗量(0.049mm)に比べてすべての加振条件で小さい値となっており、その最大値は0.042mmであることがわかりました(図8)。このことから、少なくとも本試験で想定した振動環境であれば、摺動面の振動によりラジアル軸受の摩耗量が大きくなるおそれがないことがわかりました。また、摩擦係数は、すべての試験条件ともおおむね0.1～0.2前後の値で安定して推移していることがわかりました。以上のことから、走行中の

振動環境を考慮してもラジアル軸受は台検周期相当の耐久性を有していることを確認しました。

### おわりに

脱線しにくい台車に採用した台車部品の耐久性調査を行ない、実用に耐えうる耐久性を有することを確認しました。鉄道システムの安全性向上に貢献できるよう、引き続き脱線しにくい台車の実用化に向けた取り組みを行っていきます。文末になりましたが、ラジアル軸受の耐久性調査の実施にあたり、ご指導、ご助言をいただいたオイレス工業(株)の関係各位に厚くお礼申し上げます。なお、本研究の一部は、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) 鈴木貢, 児玉真一, 田中隆之, 梅原康宏, 鴨下庄吾, 宮本岳史: 鉄道総研試験線による輪重減少抑制台車の性能評価, 鉄道総研報告, Vol.30, No.2, pp.17-22, 2016
- 2) 鴨下庄吾, 梅原康宏, 山根雄亮, 石栗航太郎: 機械式空気圧操舵システムによる曲線通過性能向上, 鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2014), S1-2-2, 2014
- 3) 鈴木貢, 本堂貴敏, 遠竹隆行: 鉄道試験線による脱線しにくい台車の性能調査, 鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2017), S7-7-2, 2017