

# DDM方式による独立回転車輪台車の構造と高速安定性

徳田 憲暁\* 石毛 真\*

## High Speed Performance and Construction of Independent Wheel System Bogie with DDM

Noriaki TOKUDA Makoto ISHIGE

We have been developing a new concept bogie, namely that for the gauge-changeable train applicable to both standard gauge 1435mm line and narrow gauge 1067mm line. Therefore this bogie has to have both high running stability at high speed on the standard gauge line and high running performance on sharp curves of the narrow gauge line. This bogie adopts the direct drive motor system (DDM) to mount a motor directly on the side of a wheel, the independent wheel system, and the wheel-set steering system. The independent wheel system provides this bogie with a high running stability at high speed with a short wheel base. We tested this bogie on our rolling stock test machine, and confirmed that any stability problems were not found at high speed of 500km/h. Also we conducted a high speed performance test at the Transportation Technology Center Inc in Pueblo, Colorado USA, and on the Sanyo Shinkansen line in Japan with the speed of more than 200km/h. This paper discusses high speed performance of this bogie on the standard gauge and its construction.

キーワード：独立回転車輪方式，高速安定性，車輪一体型主電動機，軌間可変台車，操舵機構，

### 1. はじめに

標準軌(1435mm)と狭軌(1067mm)を直通運転可能な軌間可変台車の開発を進めている。この台車は、新幹線と在来線の両方に使われるため、高速安定性と急曲線の通過性能を両立させなくてはならない。今回報告する台車は、その基本構成として変換動作の簡素化のために、独立回転構造とし、駆動は車輪に直結した主電動機による方式を採用している。また、急曲線通過性能向上のために機械的な操舵装置を採用している。開発においては、1次・2次プロト台車の試作及び車両試験台での高速性能確認試験と、走行試験車両用の台車の製作及び本線での走行試験を実施し、高速走行性能及び軸受性能の確認を行った。本論文では、上記試験の結果から、独立回転構造で操舵機構を装備した電動台車の高速走行性能と、構造上達成可能な速度を明らかにし、その実用化に対する見通しについて報告する。

なお、本台車の開発は、国土交通省(旧運輸省)の指導の下、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(旧日本鉄道建設公団)からの委託により行ったものである。

### 2. 台車の諸元・特徴

今回の開発台車の特徴は、

\* 車両構造技術研究部(走り装置)

- ①新幹線と在来線の直通運転を行うため標準軌(1435mm)と狭軌(1067mm)の2つの軌間に対応すること
  - ②一般的な鉄道車両では左右の車輪は車軸と固定され左右一体に回転するが、本台車は左右の車輪を独立に回転可能な構造とし、さらに車輪が車軸上を左右に移動可能としたこと
  - ③動力伝達機構は、構造を簡素化するために、従来の電動台車の動力伝達機構で多く使用されている平行カルダン方式ではなく、車輪に主電動機を直接取り付けるDDM(ダイレクトドライブモータ)方式を採用したこと
  - ④在来線の曲線通過性能について、独立回転構造は左右車輪の直径差による自己操舵性が無いため曲線通過時の横圧が高くなったり、車輪のフランジがレールに常時当たって摩耗が早く進んだりするおそれがあるため、曲線通過時の車体と台車のボギー角に連動してリンク機構により輪軸を曲線の曲率中心に向けるように操舵する操舵台車としたこと
- 等である。

本台車の基本構造は、車輪と主電動機を一体とした独立車輪回転方式としている。車軸は非回転で、車軸の外側で左右に移動可能な車軸外筒を配置し、その上に、軌間固定用のロッキングブロックと、軸受に支持された車輪および、モータの固定子を装着している。一般のモータは内輪が回転するが、本台車では外輪が回転する。そ

特集：車両技術

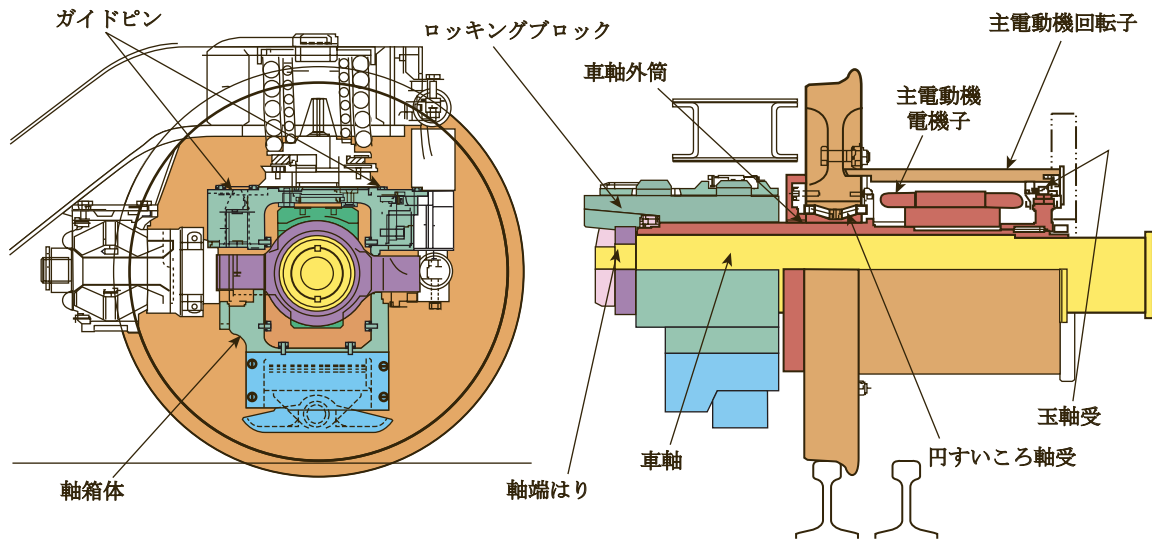


図1 輪軸部分構造図

の外輪と車輪を固定して回転力を伝達している。輪軸部分の基本構造を図1に示す。

まず高速走行性能の確認を目的として、プロト台車RT-X5台車を試作した。その基本的な諸元を表1に示す。RT-X5台車では高速走行性能確認を目的に試作したので、操舵機構は装着していない。ばね仕様は一般の新幹線に近い諸元とし、軸重は12tで検討した。また、軸受は車輪を内径部で直接支持する構造であり、さらに外輪が回転する。軸距は極力短縮化を図り2100mmとした。

次に、RT-X5台車の改良型として、RT-X7台車を試作した。その諸元も表1に示す。RT-X7台車では想定軸重を10.5tとし、車軸、軸受のサイズを小型化した。また、基本諸元では示されていないが、RT-X5台車で確認された軸箱回りの軌間変換に関わる部分の隙間による振動を抑制するために、各部品間の寸法を見直している。

RT-X5,X7台車の結果を元に、走行試験車両用の台車としてRT-X9,RT-X10台車を製作した。台車の組立図を図2に、軌間を標準軌・狭軌に設定した時の写真を図3に示す。この台車では、本線走行用の関連部品搭載等のため、軸距を2200mmと延長した。また、軸箱支持剛性を、操舵装置を考慮してプロト台車よりも低く設定している。軸重は車両の仕様から12.5tとしているが、軸受及び車軸については、強度・寿命を再検討し、RT-X7台車と同じ仕様で問題無いことを確認した。軌間変換機能の付いた輪軸回りの構成はRT-X9台車とRT-X10台車では共通であり、台車形式での違いは主に操舵機構の構成の違いである。すなわち、RT-X9台車はボルスタレス方式の操舵機構を持ち、RT-X10台車は操舵はり方式の操舵機構を持つ。RT-X9,X10台車の詳細諸元等は総研報告2000年10月号<sup>1)</sup>を参照頂きたい。

表1 台車基本諸元比較

台車	軌間 mm	輪軸回転	軸距 mm	軸重 t	軸受	軸箱支持剛性 kN/mm	等価踏面 勾配	操舵	車軸 mm
RT-X5	1435 or 1067	独立回転	2100	12.0	φ 320 × 220 (dN=430000) 外輪回転	Kx=7.7 Ky=3.3 Kz=1.1	1/4	無し	φ 165
RT-X7				10.5					
RT-X9			2200	12.5	1/8	ボルスタレス			
RT-X10						操舵はり			

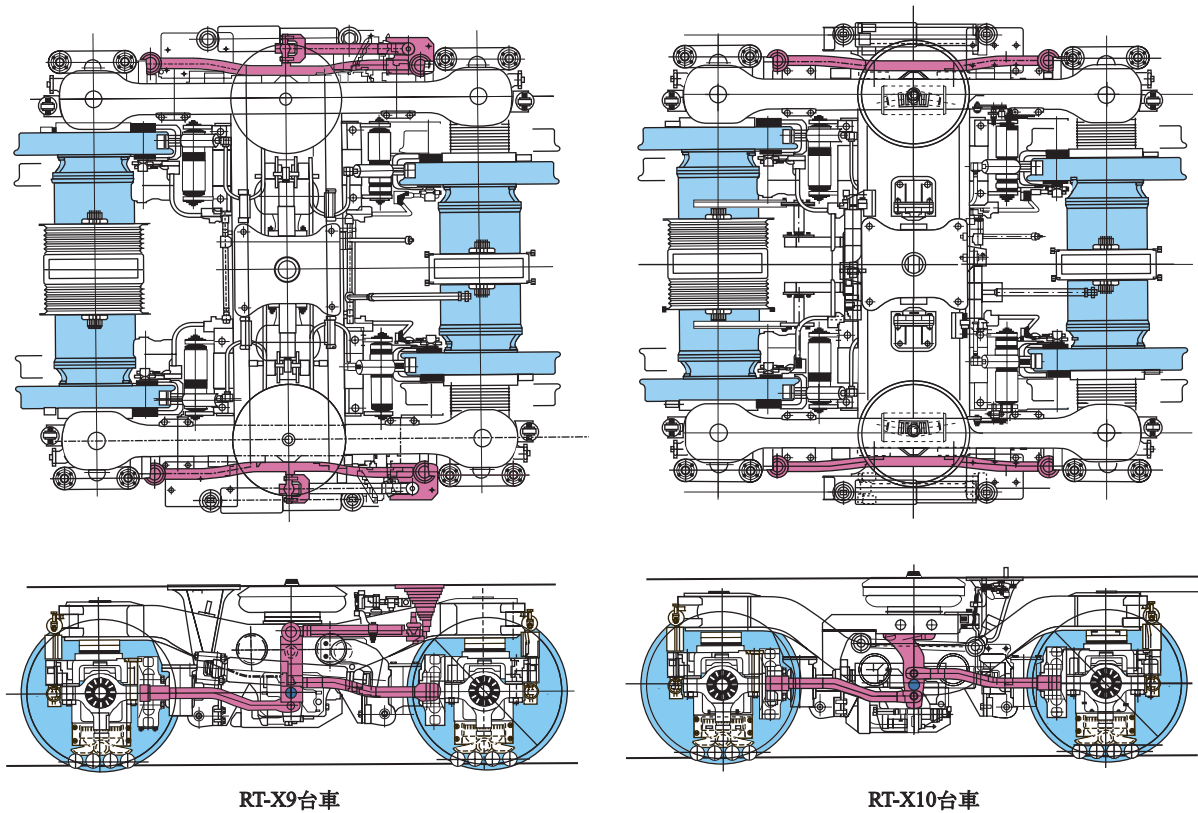


図2 台車組立図

### 3. 高速性能

#### 3.1 高速走行試験

車両試験台を用いた試験結果を表2に示す。RT-X5台車では標準軌での回転試験を行い、450km/hまで台車だ行動の発生のないことを確認した。また、軌間を狭軌に変更して同様の回転試験を行い、350km/hまで台車だ行動の発生のないことを確認した。狭軌の最高速度が標準軌よりも低いのは、狭軌の場合に車輪が軌条輪に寄ったのでそれ以上速度を上げなかったためであり、安定性としては標準軌と同程度と考える。しかし、どちらの条件でも、軸箱体と軸箱はり間に微小な隙間があったため、輪軸に振幅の小さい高周波振動が発生した。これに対しては、次のRT-X7台車で隙間を見直し、その結果、振動の発生は止めることができた。

また、左右の車輪を直結し車輪を一体化した状態で同様の試験を行い、標準軌では150km/hまで、狭軌では185km/hまで台車だ行動が発生しないことを確認した。狭軌の方が安定性が高い結果となっているが、前述したように、狭軌での試験では車輪が片寄る状態の影響を受けたと考えられる。標準軌・狭軌いずれの場合も、独立回転では高速安定性は非常に高いが、一体回転の場合には大きく安定性が低下することが確認された。

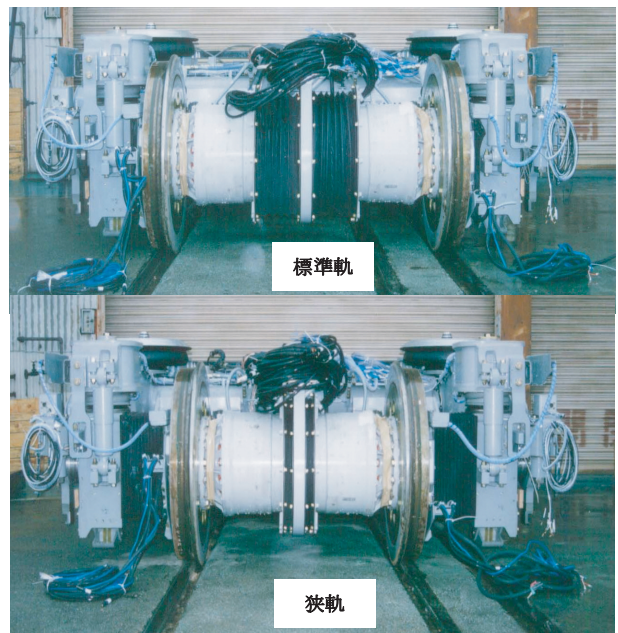


図3 標準軌と狭軌 (RT-X9 台車)

表2 車両試験台における試験結果一覧

台車	試験条件				
	軌間 mm	輪軸回転	だ行動限界速度 km/h	回転最高速度 km/h	備考
RT-X5	1435	独立回転	だ行動発生無し	450	軸受温度は限界 高周波振動有
		一体回転	150	—	台車だ行動発生 小振幅高周波振動
	1067	独立回転	だ行動発生無し	350	輪軸片寄り大 小振幅高周波振動
		一体回転	185	—	台車だ行動発生 小振幅高周波振動
RT-X7	1435	独立回転	だ行動発生無し	500	
RT-X9			だ行動発生無し	250～350	ヨーダンパ1本時車体振動発生
RT-X10			だ行動発生無し	250～350	

軸受の温度上昇は大きく、450km/hの運転では限界の120℃を超えた。

次に、2次試作台車のRT-X7台車の試験台試験を行った。その結果を表2に示す。RT-X5台車で発生した小振幅高周波振動は、軸箱回りの隙間の見直しにより発生せず、500km/hまで台車だ行動の発生は無かった。

また、軸受についても、内部構造およびサイズを見直し温度上昇を抑制したため最高速度が向上したが、基本のdN値が大きいと連続運転時の温度上昇は後述のように高い傾向を示している。

走行試験車両用のRT-X9,X10台車では、各 부품の条件の制約のため最高350km/hまでの試験台試験を行ったが、台車だ行動の発生は無かった。その結果も表2に示す。但し、ヨーダンパ1本の試験条件の場合に、RT-X9

台車では200km/hを越える速度で1～2Hzの車体のロール振動が発生した。RT-X10台車では同じ条件で発生しなかったことから、これは車体に直結した操舵機構の影響により発生したと考えられる。

### 3.2 高速走行試験

走行試験車両による高速走行試験をプエプロの実験線で実施した。実験線は半径2000～3000mの曲線がほとんどを占めていることもあり、最高速度243km/hまで試験を行ったが、安定して走行できることを確認した(図4)。試験中にヨーダンパ1本の条件でも走行した結果、試験台と同様に200km/h程度で車体のロール振動が発生した。

また、日本国内の新幹線においても高速試験を行い、

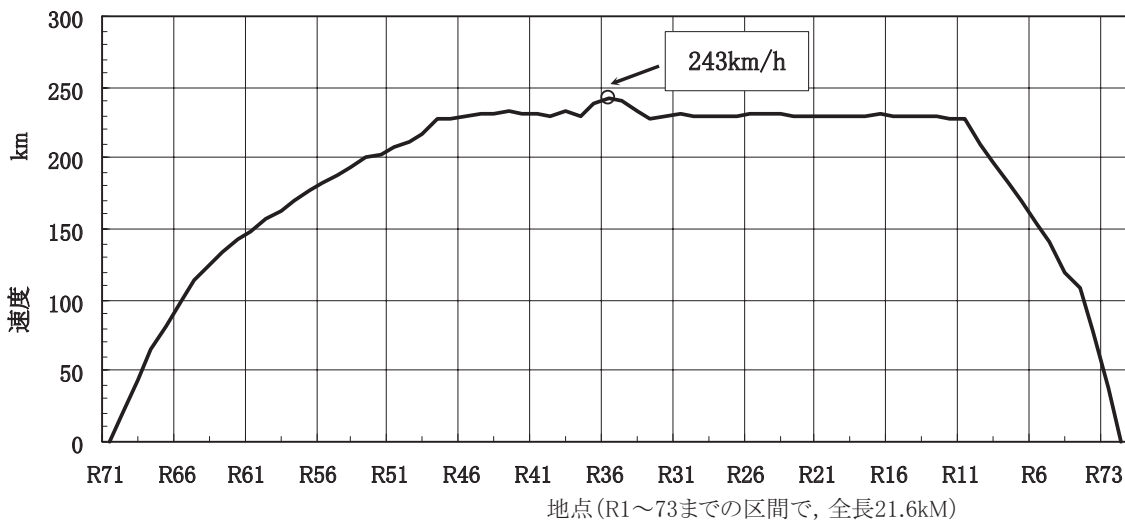


図4 プエプロ実験線での速度チャート

日程上の制約から速度は210km/hまでであったが、安定した状態であることを確認した。

以上の試験から、RT-X9のようなボルスタレス台車で車体直結式の操舵方式台車を持つ構造では、高速安定性は高いが、ヨーダンパが1本の場合に、200km/h程度で車体のロール振動が発生する傾向を示した。一方、RT-X10のような操舵はり方式の機構であれば、操舵機構を付加しても、十分な高速安定性が得られ、車体の振動も無いことが確認できた。

#### 4. 軸受

一方、本台車の構造において、高速運転に対し最も重要な部品である軸受の試験結果を整理する。

軸受の高速回転性能を示す目安値としてdN値（軸受内径×回転数）がある。一般の新幹線では、300km/h走行時のdN値は約 $22 \times 10^4$ であるが、本台車では車軸とスリーブの外側に軸受を構成するため、内径が大きく、dN値は300km/h走行時に約 $37 \times 10^4$ となる。比較を表3に示す。さらに主電動機の外輪と直結して回転するため、軸受は外輪回転となり潤滑剤のグリースがころから

外輪側に押し出されるために、潤滑性能では内輪回転に対し不利となる。

図5は台上試験における、1軸箱分の軸受の内輪4点の温度特性を示す。270km/h連続回転時に、1時間の運転で内輪温度が目安の120℃でほぼ一定となる。実際の台車では、軸箱体からの冷却効果もあり連続運転速度は台上試験よりも高く設定できるが、その分は安全のための余裕と考えると、今回の台車構造では連続運転速度は270km/h程度と考えられる。

さらに、潤滑寿命については、軸受の構造が初期のRT-X5・X7台車では図6に示すような開放型の軸受を外輪回転の条件で使用していた。そのため、台上試験での推定寿命は10万km程度であった。

寿命向上のために、軸受の両端にシールを取り付けた密封型で試験を実施し、台上試験での推定寿命は30万km程度まで向上した。

しかし、さらに寿命向上を目指し、RT-X9・X10台車では、図に示すような軸受内にグリースポケットを備えた軸受を開発した。これにより台上試験での推定寿命は100万km以上となり、現行の台車定期検査周期以上の寿命を確保できるまでに潤滑寿命を向上した。

以上はグリース潤滑タイプでの軸受の検討であるが、一方で油潤滑構造の検討も進め、図7に示す構造の軸受もプエプロで走行試験を実施した。課題はシール部分の温度上昇の抑制であったが、構造の見直しにより上記速度までの使用は可能であるとの見通しを得ることができた。但し、軸受本体の温度上昇についてはグリース潤滑の場合と同様である。また、油浴潤滑の場合、高速回転時は油が外輪に均等に押し当てられ、ころの潤滑状態が

表3 軸受諸元比較

	新幹線	RT-X9・10台車
dN値	$22.1 \times 10^4$	$36.8 \times 10^4$
潤滑条件	油又はグリース	グリース
特徴	内輪回転	外輪回転

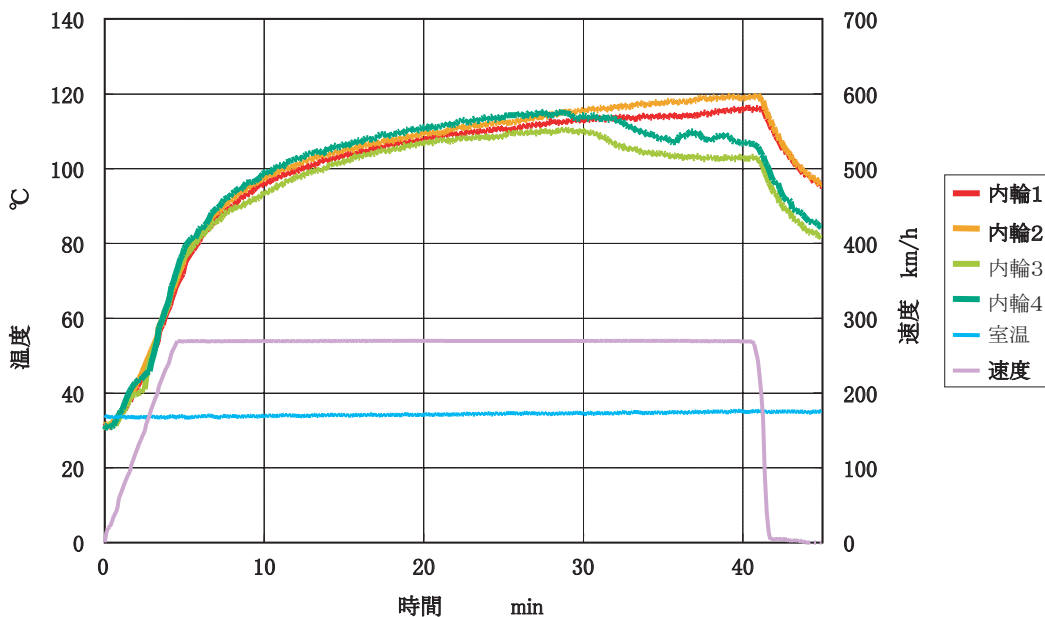


図5 軸受台上試験結果

特集：車両技術

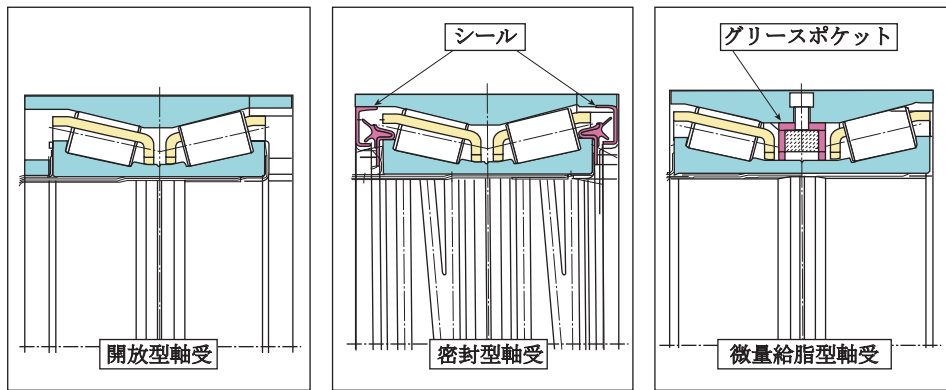


図6 軸受構造改良

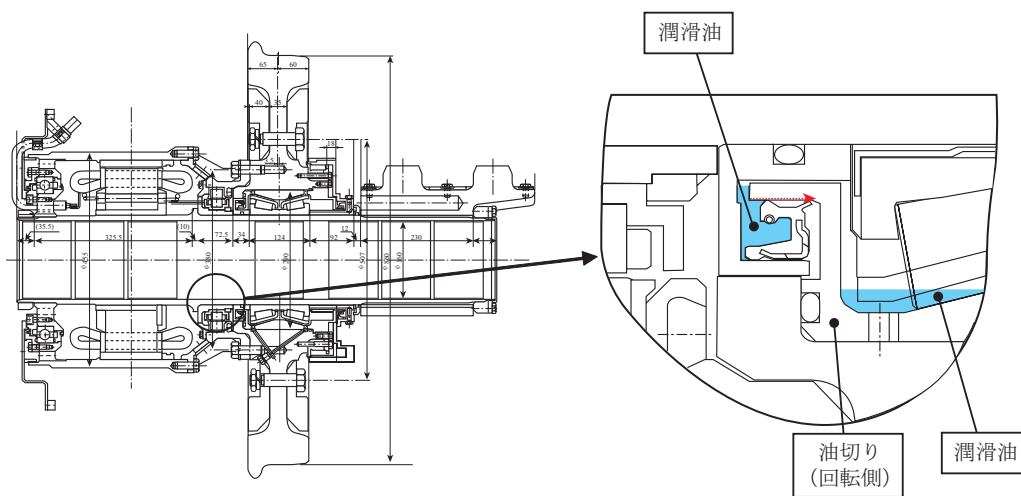


図7 油浴潤滑軸受構造

非常に良くなることを台上試験で確認した。

さらなる速度向上のためには、荷重条件や軸受性能向上等を検討して軸受の小型化を検討することが必要である。

5. 結論

以上の台車の高速走行性能試験及び軸受性能試験結果から、本台車の性能を以下にまとめる。

- ① 独立回転構造の台車では、操舵装置を付加して軸ばね支持剛性を低い値としても台車だ行動安定性は非常に高い。
- ② 車体直結方式の操舵機構では、ヨーダンパの条件によって、車体のロール振動が200km/h程度で発生する。操舵はり方式ではそのような振動は発生しない。
- ③ 本台車の構造では、軸受の温度特性により最高速度が決定され、およそ270km/h程度となる。

謝辞

最後に、この新しい台車の開発にご協力いただいた西日本旅客鉄道(株)、九州旅客鉄道(株)、富士重工業(株)、東急車輛製造(株)、住友金属工業(株)、(株)NTN他多数の方々に対しお礼を申し上げます。

文献

- 1) 徳田憲暁 他：軌間可変台車の開発,鉄道総研報告, Vol.14, No.10, pp19-24, 2000