

# 鉄道の起源と車両用軸受の変遷(2)

## 車軸軸受を中心とした進展

### Origin of Railways and Transition of Bearings for Railway Cars (2)

#### – Particularly on the Development of Axle Bearings –

大山忠夫 T.OHYAMA

*Succeeding to the previous report, which surveyed the cradle of ground transportation centering on railways, here the technological transition of axle bearings for railway locomotives and cars is mainly described.*

*Introduction of roller bearings to railway cars did not start until the beginning of 20 century. Before that time, plain journal bearings had been exclusively used. It is no exaggeration to say that the progress of roller bearings has particularly contributed to the development of recent higher speed railways.*

*This report contains the transition process of axle bearings from plain bearings to roller bearings in foreign countries, the introducing process of roller bearings to the railway cars in Japan.*

**Key Words:** history of axle bearings, plain bearing, ball bearing, roller bearing

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、鉄道を中心とした地上輸送機関の源流について述べたが、本稿では鉄道車両の車軸軸受を主体にその変遷過程に関して解説する。

鉄道車両への転がり軸受の適用は20世紀に入ってからであり、それまでは平軸受が使われていた。近年における高速鉄道の発展には、転がり軸受の進歩が大きく寄与しているとしても言い過ぎではないだろう。

ここでは、まず海外の鉄道において車軸が平軸受から転がり軸受に移行していく過程を述べた後、わが国の鉄道車両の車軸に転がり軸受を導入した初期の経緯について概説する。

り入れられ、1872年に初めて協会で標準化された3.75×7 inの平軸受は、当時としてはかなり大型のものであった<sup>3)</sup>。表1に、その後に標準化された軸受寸法と制定された年を示すが、車両の大型化と高速化に従って軸受寸法が次第に大きくなっていく状況を見てとることができる。

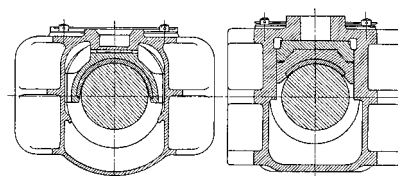


図1 平軸受の構造(ドイツ国鉄の例)<sup>2)</sup>

Structure of plain bearings (Deuchen Reichsbahn)<sup>2)</sup>

### 2. 平軸受から転がり軸受へ

鉄道の初期には、車軸に専ら平軸受が用いられ、軸受合金が半周あるいは1/3周にわたってジャーナルに跨る構造である(図1)<sup>2)</sup>。アメリカの場合を例にとると、客貨車の部品や構造の標準化を図るために、1867年に客貨車製造者協会(Master Car Builders' Association)が設立されるまでは、個々の鉄道で種々の平軸受が使われていた。その頃まで多く用いられたものの中には、鑄鉄の軸受ケースの内側をバビットメタルで満たした平軸受もあった。また、軸受寸法も内径×長さの呼称で3×6 in、2.5×5 inなど種々の寸法が採

表1 アメリカ・客貨車製造者協会による平軸受の標準化の経緯<sup>3)</sup>

Transition of the standardized plain bearings in USA<sup>3)</sup>

標準化 制定年	平軸受寸法・呼称(内径×長さ)	
	(inch)	(mm)
1872	3.75 × 7	95.25 × 177.8
1889	4.25 × 8	107.95 × 203.2
1895	5.0 × 9	127.0 × 228.6
1900	5.5 × 10	139.7 × 254.0
1914	6.0 × 11	152.4 × 279.4
1920	6.5 × 12	165.1 × 304.8

軸受合金として古くは、一般の機械を踏襲してCu；80%，Sn；20%のbell metalであった<sup>4)</sup>。当時の考え方としては、できるだけ硬くする方がよいとされたが、その後の検討結果により、Cu；87.5%，Sn；12.5%の組成(canon bronze)が鉄道の標準となった。平軸受寸法が標準化された1870年代初期には、鑄鉄のケースでパビットメタルを用いていた鉄道も上記の軸受合金を採用するようになった。初期の鉄道車両は、重量も軽く低速であったために、上述の軸受合金であまり問題はなかったが、その後の重量増と速度が高くなるに従い、アメリカでは軸焼け(hot box)が深刻になった。そのような背景から、1870年にD. F. Hopkinsが鉛の薄膜を上記の軸受合金にライニングする方法で特許をとり、それが流行しHopkinsの独占状態が1880年代まで続いた。

Hopkinsの特許が失効する前に、英国のDicksが銅・錫合金に鉛と少量の燐を添加する方法で特許をとり、Sブランド軸受合金(Standard phosphor-bronze metal：Cu；79.7%，Sn；10.0%，Pb；9.5%，P；0.8%)として商品化した。Sブランド軸受は、米国ペンシルバニア鉄道に採用されたが、同鉄道の試験部門でC. B. Dudleyは当時、鉄道車両用平軸受合金について初めて実車で系統的研究を行った<sup>5)</sup>。Sブランド軸受と従来から使われている種々の軸受合金との性能比較により、Sブランド軸受の低昇温・低摩耗特性に関する優位性は鉛に起因するとし、1892年の論文でCu；77%，Sn；8.0%，Pb；15%，P；0%が最も良い性能を示すことを発表した。Dudleyは、これ以上の鉛を加えて製造することができなかったが、その後、G. H. Clamerらは鉛を30%入れることに成功し、“Plastic Bronze”として商品化し、米国の多くの鉄道において使用された<sup>4)</sup>。

前述のように軸焼けを防ぐために、軟質金属のライニングが施されたが、鉛薄膜によるHopkinsの特許が失効して以来、ライニングを厚くする方向がとられた。そのためにライニング材を若干硬くすることが必要となり、1839年にI. Babbittにより原理的に発明されていたホワイトメタルが使われるようになった。ライニングの厚さとしては、5 / 16inと3 / 8inが多く採用され、機関車用には耐摩耗性に優れた錫基ホワイトメタルが、また、客貨車用には鉛基ホワイトメタルが用いられた。ただし、米国の客貨車製造者協会でホワイトメタルを標準化して採用するようになったのは、1915年以降である<sup>3)</sup>。

ライニングが施されても、車軸の肩部に当たるところでアキシアル荷重による極端な摩耗は、横

方向の遊間を大きくし車両の走行性能に影響を及ぼすので、軸受母材の耐摩耗性が重要であり、また、ライニングが摩耗したときに急激に軸焼けにつながるように母材の低昇温特性も必要とされた。なお、第一次世界大戦中にドイツでは銅と錫が欠乏したために、鉛の含有が98%以上でCa，Li，Alを添加して強化した“Bahnmetal”を開発し、客貨車の平軸受に使用された<sup>2)</sup>。

潤滑油として、19世紀半ばまでは動植物油が用いられたようであるが、英国のJ. Youngによる瀝青炭から鉱油の抽出の成功に続いて、1859年に米国のE. J. Drakeによる油田の発見によって石油が大量に生産されるようになり、19世紀末には鉱油が平軸受に用いられるようになった<sup>6)</sup>。給油方式としては、油に浸した糸くずをジャーナルの下に押し込むのが一般的であるが、束ねた糸くずをばねで押し付けるパッド方式もドイツなどでは採用された。

ジャーナル軸受の流体潤滑理論は、1883年に発表されたB. Towerの実験が端緒となった<sup>7)8)9)</sup>。当時、鉄道車両が大型化して高速になるに従い平軸受で種々のトライボロジー上のトラブルが発生した。そこで、その頃大量生産の兆しを示していた鉱油系潤滑油の適用可能性を検証し、合わせて最適給油法を究明する目的で、英国機械学会が委員会を設置した。試験を依頼されたTowerは鉄道工場内に試験装置を設置し、車両の平軸受(ほぼ半円弧状)をモデル化して実験を行った。この時に見出した油膜内での圧力発生が、その後O. Reynoldsの解析的研究(1886)<sup>10)</sup>につながった。Reynoldsの論文は“On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. Beauchap Tower's Experiments, ---”と題して、解析理論とTowerの実験結果を比較している。この理論が、特にジャーナル軸受の実用面に反映されるようになったのは、かなり後のことのように見える。先のDudleyは潤滑の重要性は認識していたものの、その現象は非常に複雑であるとし、Clamerは、多孔質の軸受材料が潤滑にとって望ましいと述べるに留まっている。

Reynoldsの理論は、1900年代になってドイツのA. Sommerfeld(1904)<sup>11)</sup>や英国のW. J. Harrison(1913)<sup>12)</sup>などによって引き継がれて数学的に簡単な表現とされ、それをもとにH. A. S. Howarthは、グラフを用いてジャーナル軸受の設計への適用可能性を拡大した<sup>13)</sup>。またドイツでは、1920年代後半に鉄道の車軸軸受の流体潤滑を解明する目的で、光干渉法によってジャーナル軸受の油膜厚さを測定する研究も行われている<sup>14)</sup>。

1920～1930年以降になってドイツやアメリカでは、油溜りから機械的に潤滑油をジャーナルにかき上げ、その側面に効果的に給油する方式など流体潤滑を意識した設計がなされるようになった<sup>2)15)</sup>。特に、ドイツでは第一次世界大戦中に水分や不純物の多い鉱油を用いざるを得なかったために、糸くずパッド潤滑では軸焼けが多発した。そこで、1917年頃から機械式潤滑方式が開発され、1920年代初期に実用化した<sup>16)17)</sup>。図2に、アメリカで実用化された方式<sup>15)</sup>を例示するが、その後、転がり軸受の拡大によって機械式潤滑方式の平軸受は、それほど普及しなかったようである。

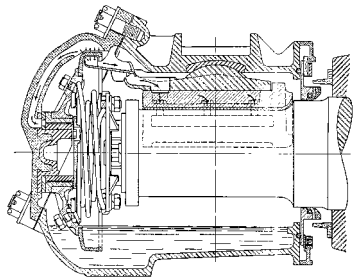


図2 機械式潤滑方式の例(アメリカ・1935)<sup>15)</sup>  
An example of oil bath lubricated plain bearings<sup>15)</sup>

一方、転がり軸受に関しては、19世紀末に自転車に玉軸受が大量に採用されるようになったことにより、1903年に初めてドイツ国鉄の客車に玉軸受(図3)が装着され、試験が行われた<sup>18)</sup>。しかし、鉄道車両のように高荷重のもとで適用するには、当時の技術では信頼性の点で不安があったため、その後10年以上実用化が中断された。

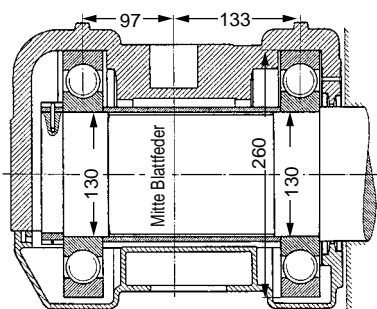


図3 鉄道車両で初めての車軸用玉軸受  
(1903年・ドイツ国鉄)<sup>18)</sup>

The first ball bearings for axles (1903, Deuchen Reichsbahn)<sup>18)</sup>

### 3. 車軸軸受への転がり軸受の拡大

平軸受に対して転がり軸受が有利と考えられた理由は、(1)走行抵抗が小さく、しかも速度にほとんど依存せず、起動時の抵抗が平軸受に比べて格段に小さい、(2)軸焼け(hot box)がなくなるので信頼性が向上する、(3)メンテナンスコストが低い、

(4)出発の際の起動がスムーズになるため乗り心地が向上する、などである。

1915年にスウェーデン国鉄では、3軸の鉱石輸送貨車50両に複列自動調心玉軸受(図4)を装着して詳細な調査を行なった<sup>19)</sup>。積載時の軸重は15.5tで、40km/hにおける走行抵抗は、平軸受が1.64kgf/tであるのに対して、玉軸受では1.01kgf/tまで低下した。その後、この軸受を旅客車、貨車、機関車にも適用したが、貨車では故障率が1%以下に収まるのに対し、旅客車や機関車では15%以上になった。そこで、スウェーデン国鉄では車軸軸受に負荷される実働荷重を詳細に測定し、高速で走行する客車では、レールの継ぎ目やポイント通過時の衝撃荷重が大きく、また機関車は高軸重であるため、玉軸受の適用は困難であるとした<sup>20)</sup>。

数年後の1920代に負荷容量の大きいたる型自動調心ころ軸受が開発され、スウェーデン国鉄の新製車両に適用された(図5)<sup>20)</sup>。その後、デンマーク、フランス、ドイツならびにアメリカでも使用されるようになり、1930年頃までに87,000セットの使用実績を示し、ヨーロッパ特急のラインゴールド号などでも採用された<sup>21)</sup>。自動調心ころ軸受は、アメリカで蒸気機関車の動力軸やコンロッドにも適用され<sup>22)</sup>、1950年以降、欧州鉄道連合(UIC)で標準軸受の一つとされた。

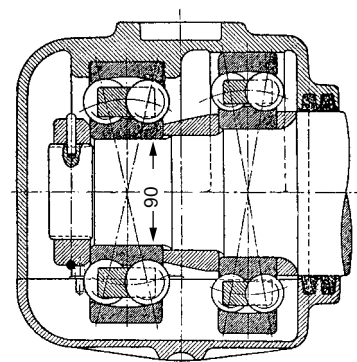


図4 鉱石輸送貨車の車軸用複列自動調心型玉軸受  
(1915年・スウェーデン国鉄)<sup>19)</sup>  
Self-aligning ball bearings (1915, Swedish State Railways)<sup>19)</sup>

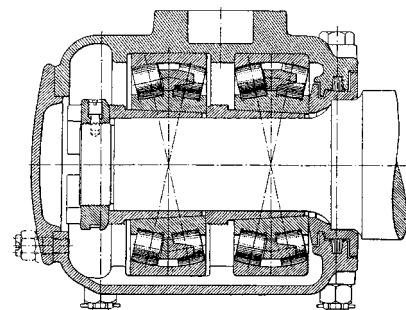


図5 たる型自動調心ころ軸受  
(1920年代・スウェーデン国鉄)<sup>20)</sup>  
Spherical roller bearings (1920's, Swedish State Railways)<sup>20)</sup>

一方、ドイツでは1900年代初期から中断されていた開発が、玉軸受では負荷容量が小さいということから円筒ころ軸受の方向を採り、1921年には、路面電車の電動機ならびに車軸軸受に種々のつば付円筒ころ軸受が装着されるようになった<sup>23)</sup>。ドイツ国鉄でも1923年に開始した広範な試験研究をもとに<sup>2)</sup>、1925年に大型の貨車へ自動調心ころ軸受とともにつば付円筒ころ軸受(図6)を装着し<sup>24)</sup>、さらに客車にも拡大した<sup>25)</sup>。当時は、軸重20tで速度60km/hの大型貨車と軸重13tで最高速度120km/hの特急客車に、同一仕様の転がり軸受が適用された<sup>24)</sup>。その後、つば付円筒ころ軸受は、UICで車両用標準軸受の一種となった。

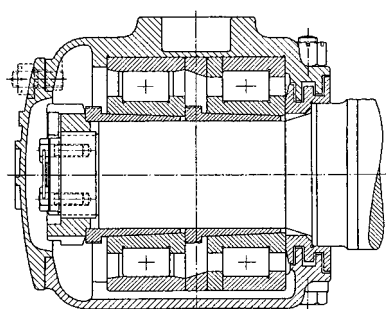


図6 ドイツ国鉄の車軸用つば付円筒ころ軸受(1925年)<sup>2)</sup>  
Roller bearings (1925, Deutschen Reichsbahn)<sup>2)</sup>

アメリカの鉄道では、複列の円すいころ軸受が1923年に初めて路面電車と貨車に投入されて以来、旅客車を加えて装着数は1930年初まで25,000セットに達した。1930年には、全ての車軸軸受を円すいころ軸受(図7)としたデモンストレーション用の蒸気機関車を製作し、走行試験が行なわれている<sup>26)27)</sup>。イギリスの鉄道では、転がり軸受の本格的導入は若干遅れ、1930年頃からメトロポリタン鉄道の車両で円すいころ軸受が使われ始めた。

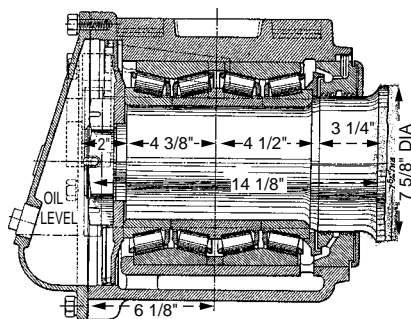


図7 蒸気機関車の車軸用円すいころ軸受(炭水車の例)<sup>27)</sup>(1930年・アメリカ)

Tapered roller bearings for steam locomotives (1930, USA)<sup>27)</sup>

1930年代初期にイギリスで一時製作された車軸軸受に、フレキシブルローラ軸受(図8)がある<sup>28)</sup>。これは、1890年代にアメリカでJ. W. Hyattが砂糖きびの破碎機に適用するために発明した転がり軸受を源流とし、細長い帯鋼をスパイラルに巻いたローラを用いるもので、弾力性があり衝撃荷重に強いとされた。しかし、具体的な適用先は明らかでなく、その後は、ソリッドタイプの円筒ころ軸受が車軸用に適用されるようになったとされる。

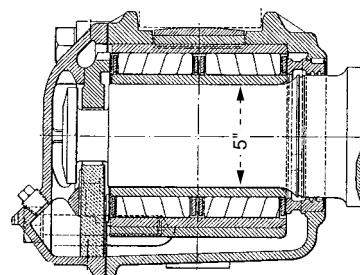


図8 車軸用フレキシブルローラ軸受(1930年代・イギリス)<sup>28)</sup>

Flexible roller bearings for axles (1930's, UK)<sup>28)</sup>

車軸用転がり軸受の潤滑は、ヨーロッパでグリースとし、アメリカでは鉱油が主として用いられた。ただし、1958年にアメリカ鉄道協会(AAR)で標準化された密封式円すいころ軸受は、グリース潤滑となっている。なお、ヨーロッパでも近年、グリース密封式円すいころ軸受が高速車両用に適用されるようになった<sup>29)</sup>。

#### 4. 日本における車軸用転がり軸受の変遷<sup>30)</sup>

わが国でも車軸軸受には、長い間、平軸受が使われていた。ただし、昭和初期(1920年代後半)に、一部の私鉄では海外メーカー製の自動調心ころ軸受が採用されたと言われる。また、標準軌(ゲージ:1435mm)の満州鉄道で昭和9年(1934年)に運転を開始した「あじあ号」は、平均速度82.5km/h(最高速度110km/h)で、当時の蒸気機関車列車の最高レベルにあった。「あじあ号」の炭水車にはアメリカ製の円すいころ軸受が、また、客車の3軸ボギー台車にはスウェーデン製の自動調心ころ軸受が装着されていた<sup>31)</sup>。

国産で最初のもは、当時の鉄道省が昭和7年(1932年)にガソリン動車(キハ41000)の車軸用として採用した内輪スリーブ締付け式複列円すいころ軸受(図9)である。この形式の円すいころ軸受は、その後内輪一体型として改良され、1935年(昭10)に流線形電車(モハ52・サハ48)やEF539形電気機関車の先台車にも採用された。

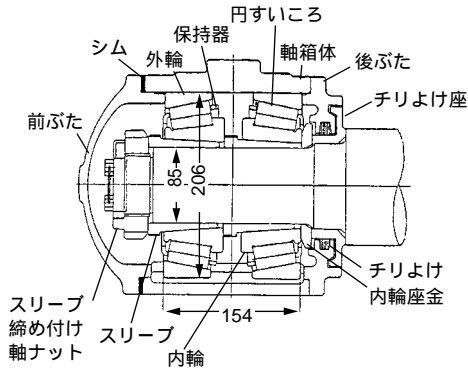


図9 ガソリン動車の内輪スリーブ締付け式複列円すいころ軸受<sup>30)</sup>(1932年・鉄道省)  
Tapered roller bearings with sleeves (1932, JNR)<sup>30)</sup>

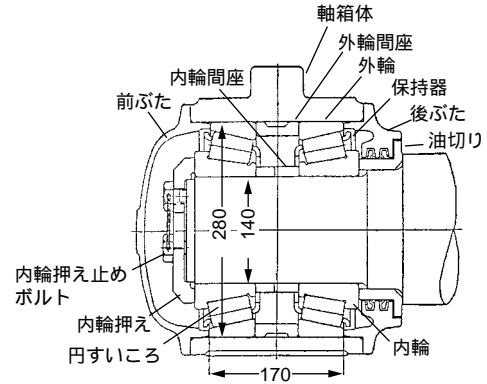


図10 背面組合せ式複列円すいころ軸受(1953年・EH10電気機関車)<sup>30)</sup>  
Tapered roller bearings (1953, EL in Japan)<sup>30)</sup>

このような戦前の転がり軸受化の機運も、第二次世界大戦の勃発とともに消滅してしまい、車軸への本格的な転がり軸受の導入は終戦後まで待たなければならなかった。終戦直後は、GHQの強力な統制のもとで軸受工業は軍需産業であるという認識から、その存続が危ぶまれる状態であったが、特に鉄道関係の先人の粘り強い働きかけにより軸受の生産がようやく開始された。以上のように、戦後の軸受工業の発展は、鉄道がその緒を切ったといっても過言ではない。

1945(昭和20)年以降、鉄道省では貨車を除く大部分の車両で転がり軸受化を推進することとなった。ただし、その頃の国産技術では種々の問題が生じたため、当時の工作局が主催して鉄道技術研究所および軸受メーカーの参加のもとに「車両用コロ軸受研究会」がもたれ、昭和30年まで継続された。この研究会の成果は、その後の鉄道車両用軸受の進展に大きく貢献した。

鉄道省でも、戦後まもなく国産の自動調心ころ軸受を一部採用した例があり、私鉄では比較的多く採用された。しかし、鉄道省では互換性の関係で、主としてスリーブ締付け式複列円すいころ軸受が、客車用に加えて電車にも導入され、昭和20年代末まで継続した。また、それまでの複列円すいころ軸受は、大端面側同士を合わせる正面組合せ方式であったが、1953(昭和28)年に新製されたEH10形電気機関車の車軸軸受は、「コロ軸受研究会」の成果を採りいれて背面組合せ方式とし、しかもスリーブを省いて直接車軸に内輪をはめ合わせる形となった(図10)。この形の複列円すいころ軸受が国鉄で再度登場するのは、1966(昭和41)年新製のトキ形式ボギー貨車におけるグリース密封式円すいころ軸受まで待つことになる。

1954(昭和29)年以降、国鉄では客車・電車とも全面的に円筒ころ軸受を採用する方針となった。その理由は、1951(昭和26)年にキハ44000形電気式ディーゼル動車へ導入したスラスト力を耐摩レジンと受金で受ける円筒ころ軸受(図11)で良好な結果を得ていたとともに、ヨーロッパにおける長期間の実績を考慮し、その後の車両の高速化にとって円筒ころ軸受が有利であると判断したためと考えられる。なお、スラスト力を耐摩レジンで受ける円筒ころ軸受は軽量で取扱いが容易であることから、当時の私鉄でも広く用いられた。

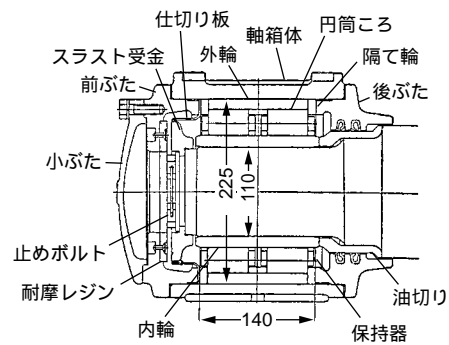


図11 スラスト力を耐摩レジンで受ける円筒ころ軸受(1951年・キハ44000)<sup>30)</sup>  
Roller bearings (1951, KIHA 44000 in Japan)<sup>30)</sup>

昭和30年代の国鉄は、蒸気から電気およびディーゼルへの動力近代化とともに、輸送力増強によってモータリゼーションに対抗するために、列車のスピードアップが焦眉の急であった。その場合、当時広く用いられていた軸箱守(ペDESTAL)方式の軸箱支持装置(軸箱の前後・左右方向は軸箱守によって位置決めされ、上下方向のみにしゅう動する)では、速度を向上した時の軸方向の動的スラスト力をいかに緩衝するかが課題であった。

そこで、円筒ころ軸受の軸端側に深溝あるいは

アンギュラ玉軸受を取り付け、皿ばね(あるいはゴム)でスラスト力を緩衝する方式(図12)が、電車や客車の軸箱に多用され、それが0系新幹線電車の軸箱(油浴潤滑)に発展した。

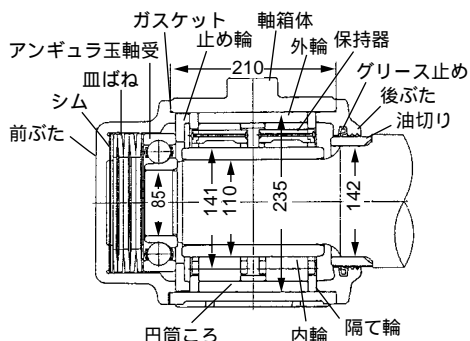


図12 スラスト力を玉軸受と皿ばねで受ける円筒ころ軸受(昭和30年代の電車・客車)<sup>30)</sup>

Axle box with duplex roller bearings and a ball bearing (Since 1955, PC & EC in JNR)<sup>30)</sup>

海外と違って日本の場合には、貨車に転がり軸受が採用されたのは遅く、1958(昭33)年に高速コンテナ貨車につば付円筒ころ軸受(図13)を導入したのが最初である。つば付円筒ころ軸受は、1953(昭28)年頃から私鉄の車両で用いられていたが、国鉄で採用したのは貨車が初めてである。昭和40年代以降、新しい軸箱支持装置の採用とともに、つば付円筒ころ軸受は電車にも多く採り入れられ、これらの長い実績をもとに、1991(平3)年に営業運転を始めた300系新幹線電車にも油浴潤滑で採用された。

さらに、平成になってからJR各社で多用されるようになったグリース密封形円すいころ軸受のルーツは、1966(昭41)年にトキ形式のボギー貨車の軸受(図14)までたどられる。この形式の軸受は、1997年に300km/h営業運転を始めた500系新幹線電車にも採用されるようになった。

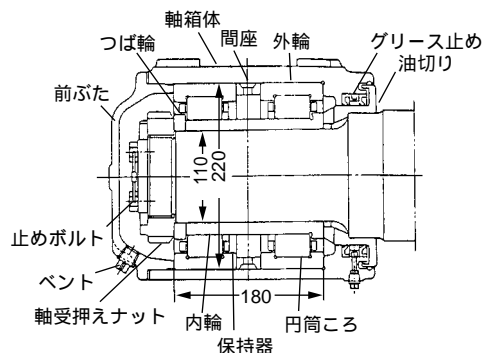


図13 つば付円筒ころ軸受(コンテナ貨車用・1958年)<sup>30)</sup>

Roller bearings with rib in wagons (1958, JNR)<sup>30)</sup>

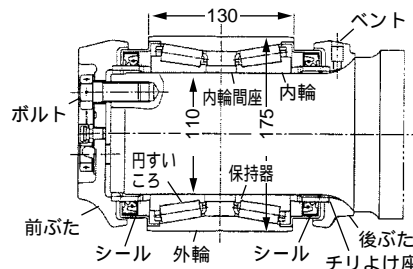


図14 グリース密封形円すいころ軸受(昭和41年・トキ形式ボギー貨車)<sup>30)</sup>

Tapered roller bearings in wagons (1966, JNR)<sup>30)</sup>

以上、日本における車軸用転がり軸受の概要について述べたが、詳細は文献30)を参照して頂きたい。

## 5. おわりに

鉄道車両の車軸に転がり軸受が使われてから80年以上経過し、今後、構造的に大きく変わることはないと考えられる。これから重要なことは、潤滑剤を含めた軸受構成要素間の関係についてトライボロジー的観点から一層知見を深めるとともに、軸受と車軸ならびに軸箱支持装置などとの関係を総合的に見て、実働荷重を考慮した軸受の最適な設計手法を確立することであると考えられる。

## 参考文献

- 1) 大山忠夫：鉄道の起源と車両用軸受の変遷(1) - 鉄道を中心とした地上輸送機関の源流 -, Koyo Engineering Journal, no. 158 (2000) 57.
- 2) Garbers: Die Fahrzeuglager der Deutschen Reichsbahn, Organ für die Fortschritte des Eisenwahnwesens, 91, 14 (1936) 46.
- 3) M. A. Hanson: Developments in Railroad Journal Bearings, J. ASLE (LUBRICATION ENGINEERING), 15, 11 (1959) 455.
- 4) G. H. Clamer: The History and Development of the Alloy Practice in the United States Applied to Railway Bearings, Proc. ASTM, 7 (1907) 302.
- 5) C. B. Dudley: Bearing Metal Alloys, J. Franklin Inst. 33, 2 (1892) 82; 3 (1892) 162.
- 6) D. ダウソン著, 「トライボロジーの歴史」, 編集委員会訳: トライボロジーの歴史, 工業調査会(1997)131, 136.
- 7) B. Tower: First Report on Friction Experiments, Proc. Inst. Mech. Engrs, 36 (1883) 682.

- 8) 田中正人：流体潤滑の神話と事実，Koyo Engineering Journal, no. 143 (1993) 1.
- 9) 矢部寛：気体潤滑技術の源流から現在まで，Koyo Engineering Journal, no. 157 (2000) 1.
- 10) O. Reynolds: On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. Beauchamp Tower's Experiments, Including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil, Philosophical Trans. of The Roy. Soc. of London, 177, Part 1 (1886) 157.
- 11) A. Sommerfeld: Zur hydrodynamischen Theorie der Schmiermittelreibung, Zeitschrift für Math. und Physik, 50 (1904) 97.
- 12) W. J. Harrison: The Hydrodynamical Theory of Lubrication with Special Reference to Air as a Lubricant, Trans. Camb. Phil. Soc., 22 (1913) 39.
- 13) H. A. S. Howarth: A Graphical Study of Journal Lubrication, Trans. ASME, 45 (1924) 421; 46 (1925) 809.
- 14) R. Wolff: Über Schmierschicht in Gleitlagern und ihre Messung durch Interferenz, Forschungsarbeiten, V. D. I., 308 (1928).
- 15) A. Vinge & I. E. Cox: An Oil-Bath-Lubricated Railway Bearing, Trans. ASME, 60, 3 (1938) 499.
- 16) W. Friedrich: Die mechanische Schmierung der Eisenbahnachsen, Zeitschrift des V. D. I., 68, 23 (1924) 877.
- 17) R. Wolff: Gleitachslager für Eisenbahn-Fahrzeuge, Zeitschrift des V. D. I., 76, 22 (1932) 529.
- 18) Scherz: Kugel-order Rollenlager für Schienen Fahrzeuge, Zeitschrift des V. D. I., 70, 19 (1926) 629.
- 19) G. Rydberg: Beitrag zur Bewertung des Kugellagers in eisenbahn-technischer Hinsicht, Annalen für Gewerbe und Bauwesen, 86, 2 (1920) 9.
- 20) Anti-Friction Bearing for Railway Rolling-Stock, The Railway Engineer (1927) 228.
- 21) Roller Bearing for Railway Rolling Stock, The Railway Engineer (1931) 249.
- 22) B. W. Taylor: Roller Bearings for Main and Side Rods on D. & H. Locomotives, Railway Mechanical Engineer (1934) 277.
- 23) H. Behr: Kugel-und Rollenlager für Schienenfahrzeuge, Zeitschrift des V. D. I., 65, 49 (1921) 1260.
- 24) H. Bieck: Neuerungen im Guterwagenbau, Zeitschrift des V. D. I., 76, 40 (1932) 959.
- 25) R. Mundt: Wälzlager in Schienen-fahrzeugen, Glasers Annalen, 76, 11 (1952) 245.
- 26) T. V. Buckwalter: Roller-Bearing Service in Locomotive, Passenger and Freight Equipment, Tras. ASME, 56, 1 (1934) 23.
- 27) Experimental Locomotives Fitted with Roller Bearings, The Railway Engineer (1931) 229.
- 28) Roller Bearing Railway Axle Boxes, Engineering (1932) 66.
- 29) J. ブレンドライン他編著，吉武立雄訳：ころがり軸受実用ハンドブック，工業調査会(1996) ¥80 .
- 30) 大山忠夫・平沢弘太郎：鉄道車両用軸受の変遷，レールアンドテック出版(1997) .
- 31) 市原善積：満鉄 特急あじあ号，原書房(1976) ¥161 .

筆者



大山忠夫\*  
T. OHYAMA

\* 営業本部 工学博士