

第39回

車軸軸受

はじめに

走り装置を構成する車軸軸受は、車両の安全で安定した走行を担う重要な部品であり、車体重量などの上下方向のラジアル荷重と曲線やポイント通過時に発生する左右方向（軸方向）のアキシャル荷重を支えています（図1）。車軸軸受には転がり軸受と平軸受（すべり軸受の一種）がありますが、現在では一部の貨車を除いて前者が使われています¹⁾。

ここでは、在来線車両の車軸軸受の変遷を構造に着目して述べ、新幹線電車用車軸軸受の開発経緯と変遷にも簡単に触れます。まず、車軸用の転がり

軸受として現在使われている円筒ころ軸受と円すいころ軸受の代表例を図2に示します。転がり軸受は、内輪と外輪の間をころなどが転がるという仕組みは変わりませんが、時代ごとに特徴が見られます。表1に車軸軸受の変遷の概略を年表に示します。なお鉄道省、国鉄・JRで使用されてきた車軸軸受を扱います。

平軸受から転がり軸受へ²⁾³⁾

鉄道の初期に車軸軸受に使われていた平軸受は、車両が走り始める際の抵抗が特に大きく、軸受の焼付きも多

かった上に保守に手間がかかるなど、改善すべき問題がありました。転がり軸受は、これらの点で平軸受より優れていることから、20世紀に入って初めてドイツで試用され、1920年頃から欧米で普及していきました。日本では、1920年後半に一部の私鉄が海外製のころ軸受を採用したのが最初です。1932年に当時の鉄道省は41000形ガソリン動車に国産の円すいころ軸受（図3）を初めて採用しましたが、本格的な使用は1945年以降です。なお、平軸受は油で潤滑されますが、在来線車両の車軸用転がり軸受はグリースで潤滑され、現在も変わりません。

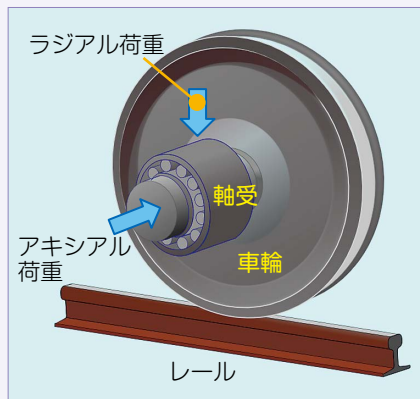


図1 車軸軸受に作用する荷重

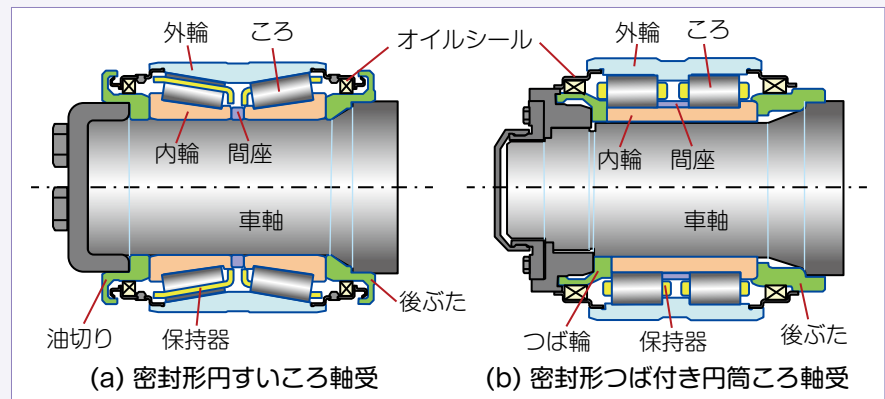


図2 現在の代表的な車軸軸受の構造

表1 車軸軸受の変遷（概略）

年代	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
電車 気動車 客車など	・スリーブ締付け式円すいころ軸受		・円筒ころ軸受+耐摩レジン ・円筒ころ軸受+弾性フェルト ・円筒ころ軸受+玉軸受				・密封形円すいころ軸受		
貨車	・平軸受			・つば付き 円筒ころ軸受	・密封形円すいころ軸受				
新幹線 電車				・円筒ころ軸受+玉軸受（油浴潤滑）			・つば付き円筒ころ軸受（油浴潤滑） ・密封形円すいころ軸受 ・円すいころ軸受（油浴潤滑）		

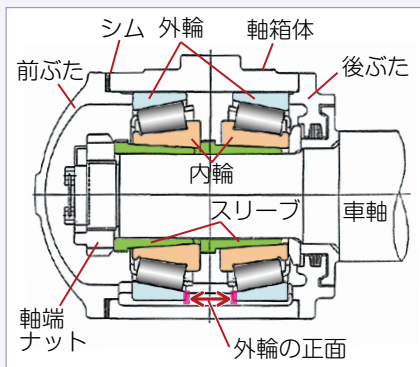


図3 鉄道省で最初のスリーブ締付け式円すいころ軸受

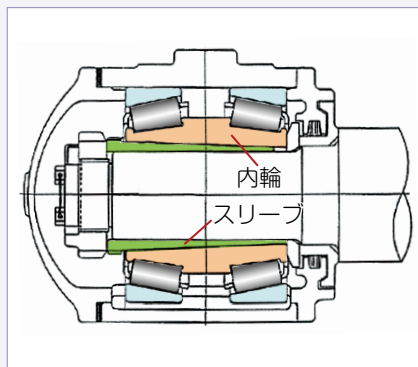


図4 内輪一体型のスリーブ締付け式円すいころ軸受

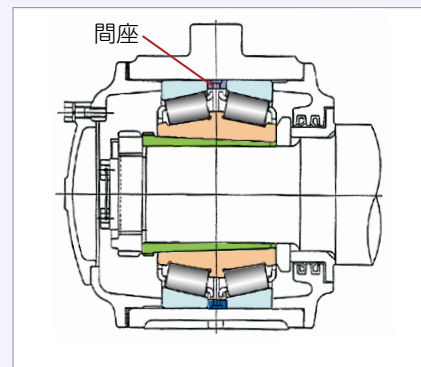


図5 スリーブ締付け式間座付き円すいころ軸受

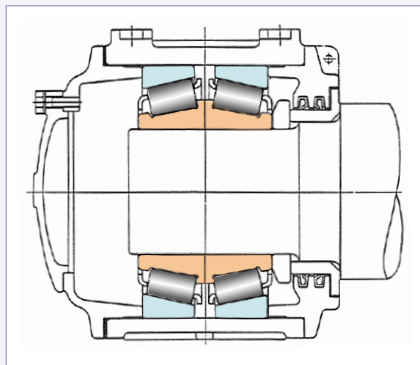


図6 内輪圧入式の円すいころ軸受

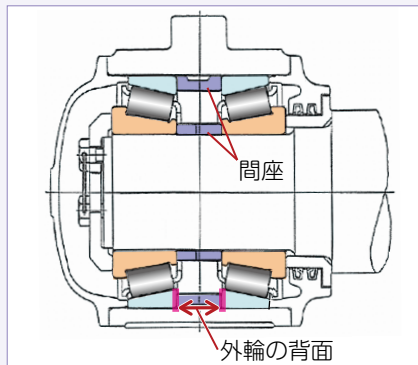


図7 背面組合せの円すいころ軸受

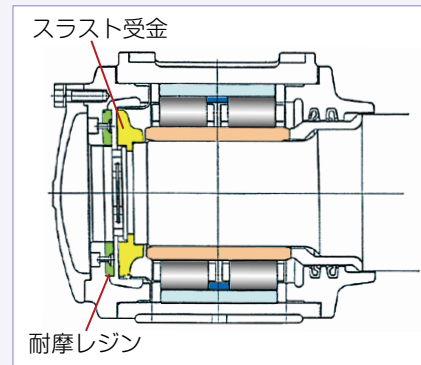


図8 耐摩レジンを備えた円筒ころ軸受

初期の円すいころ軸受³⁾⁴⁾

図3の車軸軸受は2個の円すいころ軸受を正面組合せとしたスリーブ締付け式円すいころ軸受です。内外輪のアクシアル荷重を受けられる肉厚側を背面、その反対側を正面といい、組合せの呼び方は外輪同士の関係で表します。軸受を車軸に取り付ける際には、内輪を車軸へ確実に固定すること、軸受内部のアクシアルすきま(軸受すきま)を適切な値に保持することが重要です。当時は内輪がはめあう車軸ジャーナル部の加工精度が十分でなかったため、内輪と車軸の間に挿入したスリーブを軸端ナットで締付けて内輪を固定していました。当初はそれぞれの内輪に個別のスリーブが用いられていましたが、作業が煩雑でスリーブがゆるみやすいことから、内輪一体型に改造されました(図4)。

1945年、鉄道省は車軸軸受の転がり軸受化を推進します。これに際し、車

両の種類による軸受荷重などを考慮して軸受が設計されました。気動車、電車、客車など、貨車を除くほぼすべての車軸軸受にスリーブ締付け式複列円すいころ軸受が採用され、このタイプの軸受が1950年代初めまで使われることになります。軸受すきまは当初、軸箱体と前ぶたの間にシム(薄板)を挿入して調整されていましたが、作業に熟練を要することから、後に2つの外輪の間に、所定のすきまが得られるようあらかじめ調整された間座を挟む方式(図5)が採用され、シム調整が不要になりました。スリーブ締付けでは、所定のしめしろを保持するのが難しく、内輪が車軸上を回転(クリープ)して軸受が損傷することがあったので、軸受荷重の大きい電気機関車の動軸には、内輪を車軸に直接圧入する方法が採られました(図6)。以上に加えて、電気機関車の動軸用にはモーメントに対する負荷能力が高い背面組合せとした円すいころ

軸受が設計されました(図7)。図2(a)に示す現在の円すいころ軸受の形がようやく見えてきました。ところが、1950年代半ばからは円筒ころ軸受が主流となります。

円筒ころ軸受の導入³⁾⁴⁾⁵⁾

1948年、平軸受をころ軸受に改造する際に円筒ころ軸受が初めて試験的に使用され、1951年に44000形気動車に導入されました(図8)。その後の車両のほとんどに円筒ころ軸受が用いられるようになります。この理由として、外径を小さくして軽量化できる、負荷容量を大きくできる、高速化に対応できる、車輪のフランジ摩耗を抑制できるなどが挙げられています。

ところで、円すいころ軸受ではラジアル荷重とアクシアル荷重を軸受自体で受けられるのですが、円筒ころ軸受を車軸軸受として用いるには、アキ

シアル荷重の受け方が課題になります。**図2 (b)** に示す現在の円筒ころ軸受に至るまでには多くの工夫が見られます。**図8**は、車軸端のスラスト受金と前ぶたの耐摩レジンでアキシャル荷重を受ける構造です。両者の間には若干すきまがあり、車軸が軸方向に移動すると接触してアキシャル荷重を受けます。1954年以降標準形となった電車・客車用の円筒ころ軸受では、スラスト受金と硬質弾性フェルトの組合せが採用されましたが、フェルトの焼付きが多発しました。そこで、**図9**のように前ぶたに皿ばねと玉軸受が組み込まれた構造に改造されました。アキシャル荷重が作用すると、皿ばねで衝撃力を緩衝しつつ、玉軸受が回転する仕組みになっています。1956年には玉軸受の内輪を直接軸端に、外輪組立品を皿ばねとともに前ぶたにそれぞれ取り付ける構造が考案され、その後皿ばねを耐油性の緩衝ゴムに変えた構造が大部分の電車や客車に用いられました(**図10**)。

このように円筒ころ軸受と玉軸受を組み合わせた構造が主流となる一方で、軽量化や構造の簡略化のために玉軸受を用いずに、内外輪のつばでアキシャル荷重を受けるつば付き円筒ころ軸受が導入されていきます。1958年に、これまで平軸受が使われていた貨車に初めて転がり軸受が導入され、コンテナ貨車につば付き円筒ころ軸受が初めて使

われました(**図11**)。1960年代半ば以降、気動車や電車などでこのタイプの軸受が多く採用されました。電車では初めてのは外輪の両端にオイルシールを設けてグリースが封入され、**図2 (b)** に示す現在の密封形つば付き円筒ころ軸受とほぼ同じ構造になっています。つば付き円筒ころ軸受は内外輪のつばとこの端面がすべり接触しながらアキシャル荷重を受けます。そのため、当初高速域での使用が問題視されましたが、内外輪のつば部やころ端面の設計上の工夫や加工精度の向上によりアキシャル負荷能力が増大したことや、貨車などでの使用実績から信頼が得られたことが普及した理由として考えられます。

再び円すいころ軸受の普及⁷⁾

1950年頃から円筒ころ軸受の使用が拡大しましたが、貨車では1966年にグリースを予め封入した密封形円すいころ軸受が採用され、現在でもこのタイプの軸受が使われています。電車では20年以上も後の1988年に651系特急電車に初めて密封形円すいころ軸受が導入されました。初期の円すいころ軸受で課題であった内輪と車軸のしめしろ管理は、加工精度が著しく向上したことにより解決しました。このタイプの軸受は各部品が組み立てられてユニット化されているので取り扱いやすく、軸

受すきまを小さくして走行安定性を向上できるなどの理由で多用され、現在でも主流になっています(**図2 (a)** 参照)。その一方で、つば付き円筒ころ軸受も継続して使用されて現在に至ります。

新幹線電車用車軸軸受の開発経緯⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾

1964年に開業した東海道新幹線の計画で設定された最高速度250km/hは未知の高速度域であったため、車軸軸受の構造や潤滑方式、密封装置などについて、台上試験や現車試験を実施して慎重に検討されました。

試験台車の軸受には、在来線車両で実績のある円筒ころ軸受と玉軸受の組合せが考えられました。供試軸受の構造として、円筒ころ軸受：2列／4列、玉軸受：深溝／4点接触、潤滑：油浴／グリース、密封装置：ラビリンス(微小なすきま構造)／オイルシールが考えられました。そして、これらを組み合わせた各種供試軸受について、荷重や回転速度を変えて実施された試験機による室内試験に加え、現車による性能試験や速度向上試験を実施し、軸受外輪などの温度上昇や密封装置の性能などが評価されました。その結果、円筒ころ軸受と玉軸受の組合せで、皿ばねで玉軸受に与圧を加える構造が採用されました(**図12 (a)**)。潤滑方式は室内

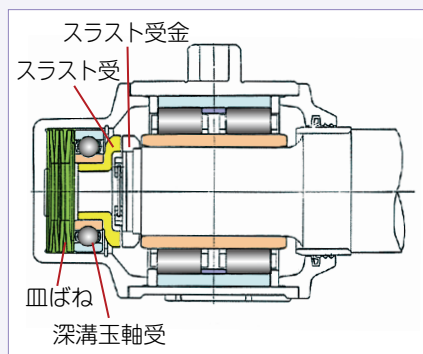


図9 玉軸受と皿ばねを備えた円筒ころ軸受

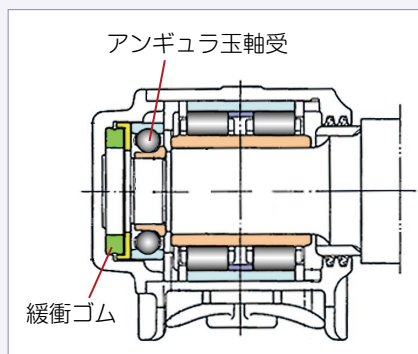


図10 玉軸受と緩衝ゴムを備えた円筒ころ軸受⁶⁾

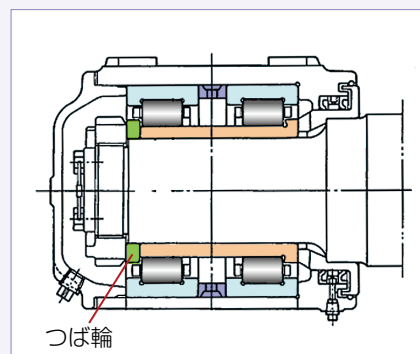


図11 つば付き円筒ころ軸受⁶⁾

出典：柏原良伸、高速鉄道車両の軸受、Koyo Engineering Journal No.129, p40 (元図に加筆)

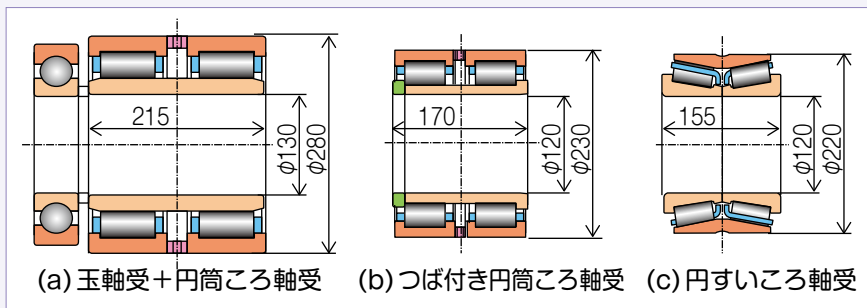


図12 新幹線電車用車軸軸受

試験中の温度上昇が比較的小さかった油浴潤滑が高速度域では信頼性が高いと判断されました。油浴潤滑の採用は在来線車両とは大きく異なる点といえます。密封装置はオイルシールとラビリンスの併用とすることが決定されました。オイルシールはいずれの試験でも摩耗や変質などが発生したため、オイルシール専用の試験機を利用して耐摩耗性、耐熱性などが改良されました。

このようにして開発された0系新幹線電車の車軸軸受は、当時世界で初めての高速域での走行を可能にした技術として、一般社団法人日本トライボロジー学会より「トライボロジー遺産」に認定されています¹¹⁾。

新幹線電車用車軸軸受の変遷

0系新幹線電車以降、1982年に開業した東北・上越新幹線の200系、1985年に東海道・山陽新幹線に投入された100系でも、寸法の変更はありますが、0系と同じ構造が踏襲されました。降雪の多い地域を走行する200系では軸箱のオイルシールを二重にして浸水対策が講じられました。

JR発足後の1992年に東海道新幹線で営業を開始した最高速度270km/hで走行する300系では、在来線でみたように玉軸受を用いない、油浴潤滑のつば付き円筒ころ軸受(図12 (b))が採用され、大幅な小型・軽量化が実現されました。その後400系やE1～E4

系にも同様に油浴潤滑のつば付き円筒ころ軸受が採用されました。

1997年、最高速度300km/hの営業運転を開始した500系では、日本の新幹線で初めてグリース潤滑の密封形円すいころ軸受が採用されたことにより、潤滑方式と軸受の構造がこれまでと大幅に変更されました。その後、700系やN700系にも円すいころ軸受(図12 (c))が用いられていますが、潤滑方式は油浴とグリースの両方があります。現在国内最高の320km/hで走行するE5系のほか、E6系やE7(W7)系でも油浴潤滑のつば付き円筒ころ軸受が採用されています。

今後の展望

車軸軸受は加減速が広範囲な回転数で繰り返され、作用荷重が常に変動するうえに様々な気象条件で使用されます。このような過酷な条件のもと、分解検査や潤滑剤交換を行うメンテナンス周期の間、損傷せずにその機能を維持しなくてはなりません。したがって、軽量化や高速化に対する技術に加え、関連部品を含めた、さらなる信頼性や耐久性向上のほか、メンテナンスの省力化に寄与する技術が求められています。

軽量化は高速化に貢献しましたが、負荷能力確保の観点から、これ以上の軽量化は難しい状況です。さらなる高速化には、軸受の高速回転に伴う摩擦熱や潤滑剤のかくはん熱による軸受温

度上昇の抑制、潤滑剤や密封装置の耐熱性などの向上が求められます。また、潤滑方式として油浴かグリースかについても課題の一つに挙げられます。さらに、軸受の実働荷重を把握して軸受周辺を含めた設計に反映できれば信頼性向上につながるため、走行時の実働荷重を正確に把握する技術や、それを再現できる試験装置や試験方法の構築が望まれます。2002年の省令改正により、鉄道事業者が車両の性能やメンテナンスの実態に応じて、その内容や周期を定められるようになりました。そのため、軸受や潤滑剤に対して長寿命化やメンテナンスフリー化への要求が高まっており、軸受の状態監視技術や潤滑剤の簡便な劣化判定技術なども有効と考えられます。

(永友貴史/材料技術研究部
潤滑材料研究室)

文献

- 1) 永友ほか：車軸軸受の性能を調べる，RRR, Vol. 68, No. 11, pp. 22-25, 2011
- 2) 大山：鉄道の起源と車両用軸受の変遷 (2)，Koyo Engineering Journal, No. 161, pp. 65-71, 2002
- 3) 車両用コロ軸受研究会：国有鉄道における車両用コロ軸受，車両技術, No. 27, pp. 3-14, 1956
- 4) 堀井：ころがり軸受の鉄道車両への応用 (1)，NSK Bearing Journal, No. 632, pp. 1-6, 1973
- 5) 大山，平沢：鉄道車両用軸受の変遷 (1)，鉄道車両と技術, Vol. 2-9, No. 14, pp. 3-9, 1996
- 6) 柏原：高速鉄道車両の軸受，KOYO Engineering Journal, No. 129, pp. 38-48, 1986
- 7) 大山，平沢：鉄道車両用軸受の変遷 (2)，鉄道車両と技術, Vol. 2-10, No. 15, pp. 30-36, 1996
- 8) 赤岡：国鉄新幹線車両用軸受 (1)，機械の研究, Vol. 15, No. 8, pp. 1031-1035, 1963
- 9) 鉄道技術研究所：東海道新幹線に関する研究 (第2冊)，1961
- 10) 鉄道技術研究所：高速鉄道の研究，研友社，1967
- 11) 日本トライボロジー学会：<http://www.tribology.jp/bequest/> (参照日：2015年4月7日)