

寒冷地での安定輸送を支える 新幹線車両用車軸軸受油の開発



生駒 一樹
Kazuki Ikoma
材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員



木川 定之
Sadayuki Kikawa
材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員



鈴木 淳一
Junichi Suzumura
材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員

はじめに

鉄道車両には多数の部品が使用されており、多くの摩擦部が存在します。摩擦部において適切な潤滑が行われていない場合、著しい摩耗が発生し、部品の故障を引き起こすだけでなく、鉄道車両全体の信頼性を低下させるおそれがあります。これらを防ぐため、使用環境や走行条件に応じて、適切な潤滑剤を選定し、これらの部品の摩耗を防止することが不可欠です。

本稿では、鉄道車両用台車部品に使用される潤滑剤について紹介するとともに、近年新たに開発した寒冷地対応の新幹線用車軸軸受油について取り上げます。

鉄道車両における台車部品と潤滑剤

鉄道車両（電車）における主な台車部品を図1に示します。台車部品には主電動機軸受、歯車装置の大歯車軸受・小歯車軸受、車軸軸受などさまざまな軸受が使用されています。軸受は、回転軸に取り付けられ、回転しながら荷重を支持する機械部品の一つです。軸受内では、「ころ」と「内輪」「外輪」「保持器」との間でそれぞれ摩擦を生じるため、円滑な動作や摩耗防止の観点から各部の潤滑が不可欠です（図2）。歯車装置軸受や新幹線車両用車軸軸受（一部の車種を除く）では、潤滑油を使用した「油浴潤滑」が採用されており、主電動機軸受や在来線車両用車

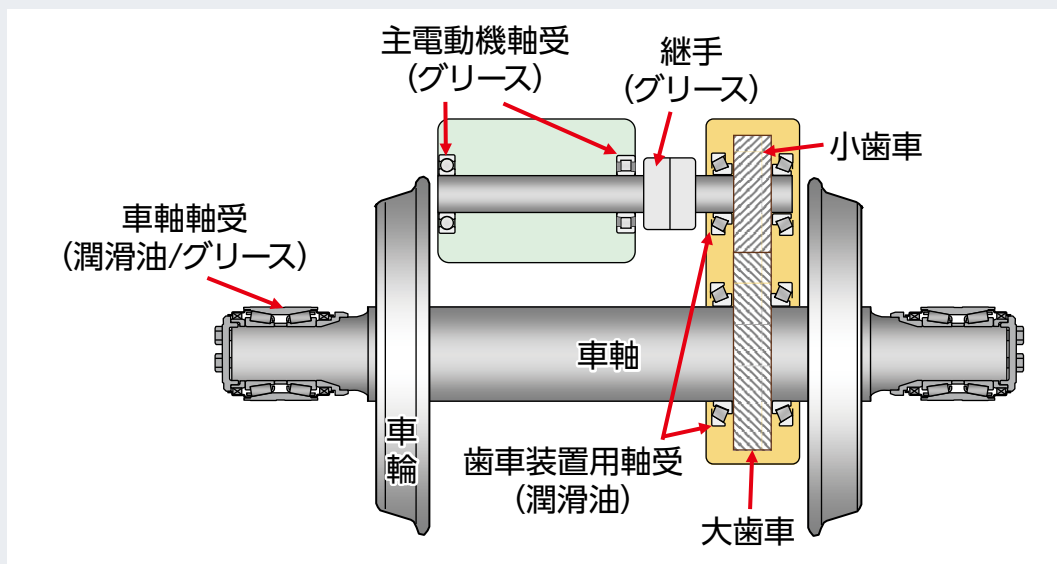


図1 鉄道車両（電車）における主な台車部品とその潤滑剤

軸軸受，一部の新幹線車両用車軸軸受では，主に「グリース潤滑」が採用されています。潤滑油は，液体状の潤滑剤であり，基油（原油から精製された鉱油や，化学的に合成された合成油）と添加剤で構成され，グリースは，三次元的な網目構造を有する増ちょう剤と潤滑油（基油＋添加剤）で構成されます。

潤滑剤は，走行距離の増加や使用時間の経過によって劣化し，潤滑性能が徐々に低下していきます。そのため，鉄道事業者では，潤滑不良とそれに伴う不具合が生じないように，定期的な実施される車両検査のタイミングで潤滑剤を交換しています。鉄道総研では，潤滑剤の交換の要否を判断する目安として，「管理基準値」を提案しており，鉄道事業者やメーカーなどが潤滑剤の交換周期を検討する際の判断材料として広く活用されています¹⁾。

近年では，車両検修における省人化や生産性向上を目的として，多くの鉄道事業者が進めている車両検査の周期延伸（潤滑剤の交換頻度を減らす）の取り組み²⁾や，車両の高速化，鉄道網の寒冷地への延伸などの走行条件の変化などに対応するため，鉄道車両用潤滑剤には，これまで以上の性能（さまざまな使用条件に耐えられるとともに，劣化しにくく，長寿命であるこ

となど）が求められるようになってきました。

寒冷地対応に向けた これまでの取り組みと潤滑油の開発

潤滑剤を寒冷地で使用する場合，低温での流動性が特に重要となります。一般に，潤滑油は低温になると粘度が増加し，流動性が低下します。流動性が低下すると，潤滑油が軸受内の摩擦部にうまく行き渡らず，摩擦面で油膜を形成しづらくなるため，特に車両起動時において，著しい摩擦や最悪の場合は**焼付き**³⁾に至る恐れがあります。

鉄道総研における寒冷地対応潤滑油の開発事例として，低温流動性を向上させたギヤ油があります。歯車装置では，歯車の回転によって潤滑油が装置内に拡散される「はねかけ」により各歯車軸受を潤滑しています（図3）。そのため，寒冷地では流動性が低下して潤滑油が軸受に到達しにくくなるため，車両起動時における歯車装置用軸受の潤滑不良が懸念されてきました。

3 焼付き

潤滑剤の不足（潤滑不良）や高負荷などが原因で，摩擦する材料同士が直接接触し，発生した摩擦熱によって表面が溶着・損傷する現象です。機械部品の動作不良や重大な故障の原因となります。

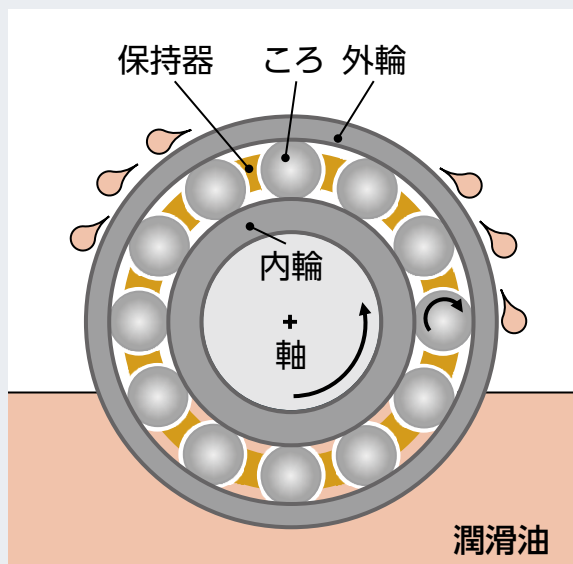


図2 軸受の構造と油浴潤滑

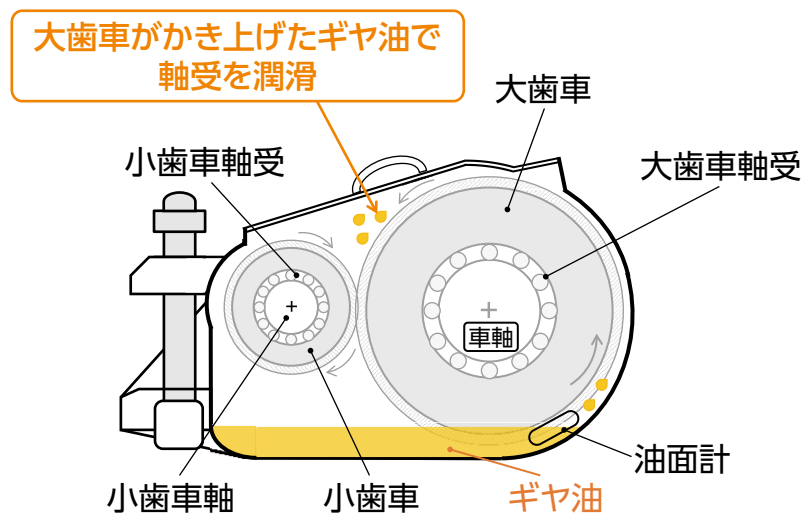


図3 電車歯車装置におけるギヤ油とはねかけによる潤滑³⁾



図4 寒冷地走行に対応したギヤ油の開発

この課題に対し、基油や添加剤の配合処方を見直すことによって、 -30°C 以下の低温環境下においても十分な流動性を有するギヤ油を開発しました(図4)³⁾。

このように、低温流動性を確保するためには、基油と添加剤の両面から、潤滑油の配合を設計することが重要です。潤滑油の開発にあたっては、試作品に対して粘度や流動点などの基本性状評価を実施するほか、酸化安定性や耐摩耗(荷重)・極圧性能、せん断安定性、抗乳化性、さび止め性などのさまざまな室内評価試験により評価を行います。その後は、必要に応じて台上試験、現車試験へと段階的に試験フェーズを上げて潤滑油の評価を行い、実用化へと進めていきます。

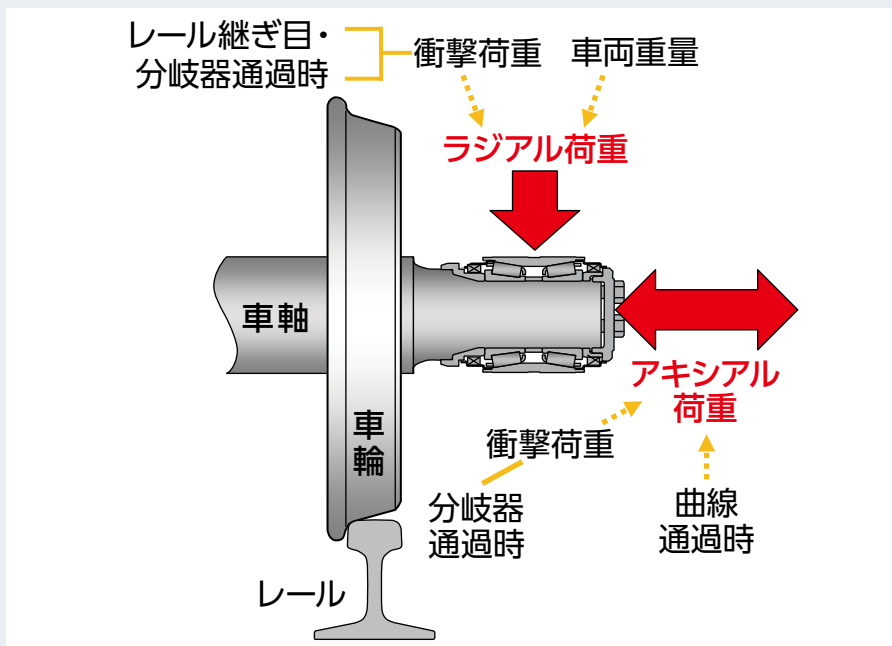


図5 車軸軸受にかかる荷重

表1 車軸軸受油の組成の比較

| | | 従来油 | アクスループ | 開発油 |
|--------|-------|----------------|---|---------------------|
| 基油 | | 鉱油 (グループII) | 高度精製鉱油 (グループIII) 50% + 合成油 (グループIV) 50% | 高度精製鉱油 (グループIII) |
| 添加剤 | 酸化防止剤 | A ○ | - | ○増量 |
| | B | - | ○ <赤色化原因> | - |
| 流動点降下剤 | | ○ | ○ | ○増量 |

寒冷地走行に対応した 車軸軸受油の開発

車軸軸受(図5)は、車軸の両端に取り付けられており、ラジアル荷重とアキシャル荷重の両荷重を支持する軸受です。油浴潤滑である新幹線車両用車軸軸受の潤滑油には、鉄道総研が過去に開発

流動点

潤滑油が流動する最低温度のことで、測定方法はJIS K 2269に規定されています。流動点が高いほど、より低温流動性に優れた潤滑油であることを示します。

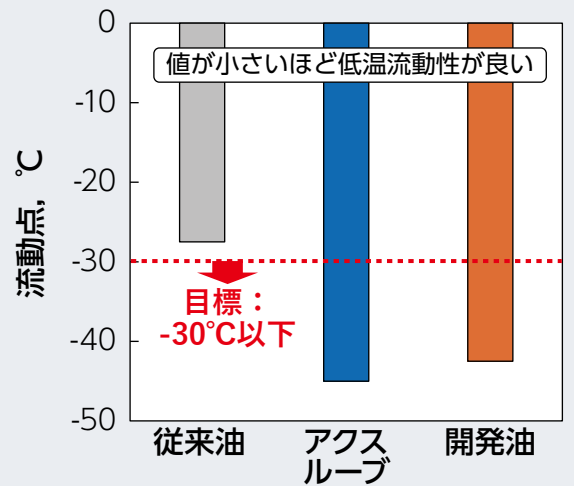
ラジアル荷重・アキシャル荷重

軸受に作用する荷重であり、垂直方向に加わる荷重をラジアル荷重、軸方向に加わる荷重をアキシャル荷重と呼びます。車軸軸受では、主に車輪・車軸を除く車両と乗客・貨物の重量や走行中(レール継ぎ目や分岐器通過時)における上下方向の衝撃荷重がラジアル荷重として、車両が曲線を通る際の遠心力やポイント通過時などの左右方向の衝撃荷重がアキシャル荷重としてそれぞれ作用します。

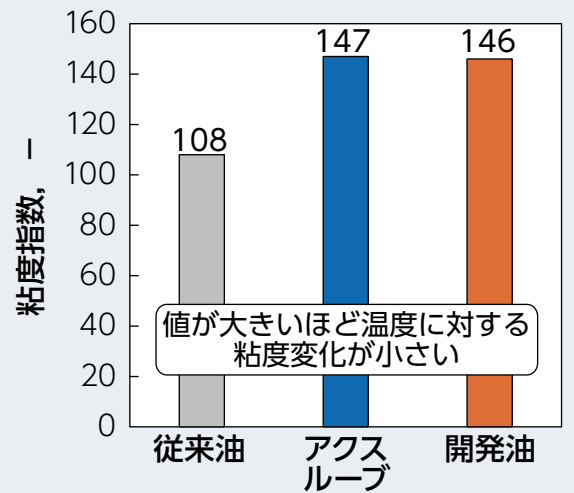
した「JRスーパータービン68」(以下、従来油)が使用されてきました。しかし、ギヤ油と同様に、新幹線網の寒冷地への延伸に向けて、車軸軸受油においてもさらなる低温流動性が求められるようになってきました。鉄道総研が過去に400km/h域の高速新幹線向けに開発した車軸軸受油「アクスループ」⁴⁾は低温性能にも優れていましたが、高価であることに加え、配合されている添加剤が紫外線を受けると容易に反応し、油自体が赤色化してしまうという課題があり、実用化に至りませんでした。そこで、「-30℃以下の流動点」と「赤色化抑制」の両者を兼ね備えた新幹線車両用車軸軸受油(以下、開発油)を新たに開発しました。従来油とアクスループ、開発油の組成の比較を表1に示します。

従来油の基油には鉱物油(API分類^{注)}:グループⅡ)が、アクスループの基油には高度精製鉱油(API分類:グループⅢ)と合成油(API分類:グループⅣ)を混合した半合成油がそれぞれ用いられています。一般にグレードの数字が大きくなるにつれ、低温流動性や酸化安定性などの各種性能に優れるメリットがありますが、その反面、高価であるというデメリットがあります。そこで、開発油の基油には高度精製鉱油(API分類:グループⅢ)を採用しました。また、アクスループにおける赤色化の原因が、配合されている添加剤の一つである酸化防止剤にあることを突き止め、開発油では、従来油をベースとした添加剤処方として配合を行いました(一部の添加剤も変更しています)。

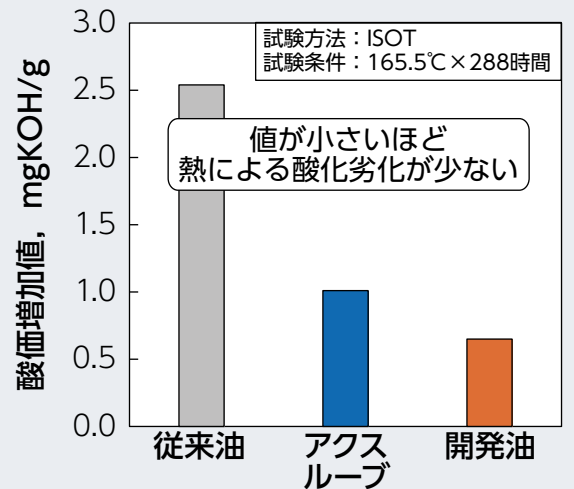
室内試験による基本性状の評価を実施した結果(一部)を図6に示します。流動点は、従来油が-27.5℃、アクスループが測定下限の-45℃であるのに対し、開発油は-42.5℃で



(a) 流動点



(b) 粘度指数



(c) 酸化安定度試験後の酸価増加値

図6 車軸軸受油の評価試験結果

注 API分類

米国石油協会(American Petroleum Institute: API)により規定された潤滑油基油の分類であり、グループⅠ~Ⅲは鉱油、グループⅣはポリ α オレフィン系の合成油、グループⅤはⅠ~Ⅳに属さないものとされています。鉄道総研が開発したギヤ油や車軸軸受油の基油には、鉱油系基油の中でも精製度の高いグループⅢの高度精製鉱油を用いています。

あり、性能目標を満たしました。また、開発油の**粘度指数**®や**酸化安定度試験**®後の酸価増加値はアクスループと同等であり、従来油よりも性能が向上していることが分かりました。さらに、紫外線による変色を評価するため、屋外に一定時間静置した暴露試験も実施しました(図7)。アクスループでは、紫外線によって顕著な赤色化が確認されたのに対し、開発油では従来油と同様に赤色化が抑制されていることが確認できました。このように、開発油は室内試験において良好な結果を示し、目標性能を満たしていることが分かりました。

現在、油潤滑の新幹線車両用車軸軸受には、複列円すいころ軸受と複列円筒ころ軸受の2種類が使用されています⁵⁾。開発油が問題なく使用できることを確認するため、両方の実物大軸

受を用いた台上耐久回転試験を実施し、性能評価を行いました。主な試験条件を表2に示します。走行距離(換算)は、現行の車軸軸受油の更油周期(台車検査周期)に相当する80万kmとしました。回転速度は実車の運転速度を考慮して設定し、荷重条件は、実車相当のラジアル荷重の連続負荷と、**JRIS規格**®を参考にしたアキシャル荷重のパターン運転(図8)を組み合わせた条件に設定しました。試験中は、軸受温度測定を実施し、試験後は、軸受調査や油分析、オイルシール調査などを実施しました。その結果、表3に示すように、いずれも良好な結果が得られました。

また、この開発油は、鉄道事業者において実施された現車試験においても良好な結果が得られたことから、従来油に代わる新たな車軸軸受

図7 屋外暴露前後における車軸軸受油の外観変化



(a) 屋外暴露前(未使用)



(b) 屋外暴露後

粘度指数

潤滑油における粘度の温度依存性の目安となる指標です。40℃と100℃の動粘度から算出され、数値が大きいくほど温度変化による粘度の変化が小さいことを示します。

酸化安定度試験

潤滑油の酸化安定性を評価するための試験であり、JIS K 25114に規定されている内燃機関用潤滑油酸化安定度試験(ISOT)やタービン油酸化安定度試験(TOST)、回転ポンベ式酸化安定度試験(RBOT)などがあります。

JRIS規格

鉄道車両などの標準化促進、設計の利便、品質改善、生産効率の向上などを目的に一般社団法人日本鉄道車輛工業会が制定する技術規格のことで、鉄車工規格とも呼びます。本稿に示した車軸軸受油の台上耐久試験条件の設定にあたっては、JRIS J 0455「鉄道車両-車軸軸受の性能試験方法」を参考にしています。

油として順次導入が進んでいます。

おわりに

本稿では、鉄道車両の台車部品に使用されている潤滑剤について紹介するとともに、これからの鉄道車両の寒冷地走行を見据えて開発した、「低温流動性を向上させた新幹線車両用車軸軸受油」について紹介しました。潤滑油やグリースなどの潤滑剤は、普段私たちが乗車する際には直接目にすることはありません。しかし、見えないところで車両部品の摩耗や故障を防ぎ、車両の安定走行や安全性を支えています。さらなる潤滑剤の性能向上に向けて、今後とも研究開発を進めてまいります。

本報告の内容には、ENEOS株式会社との共同研究の成果が含まれています。 **RRR**

表2 台上耐久回転試験の主な試験条件

| 試験軸受 | 複列円すいころ軸受 | 複列円筒ころ軸受 |
|---------|-----------------------------|----------|
| 最高回転速度 | 365 km/h | 320 km/h |
| 走行距離 | 80万 km (定期検査周期) | |
| ラジアル荷重 | 実車両相当荷重 (連続負荷) | |
| アキシャル荷重 | 押し引き交互 (パターン負荷) : JRIS 規格準拠 | |

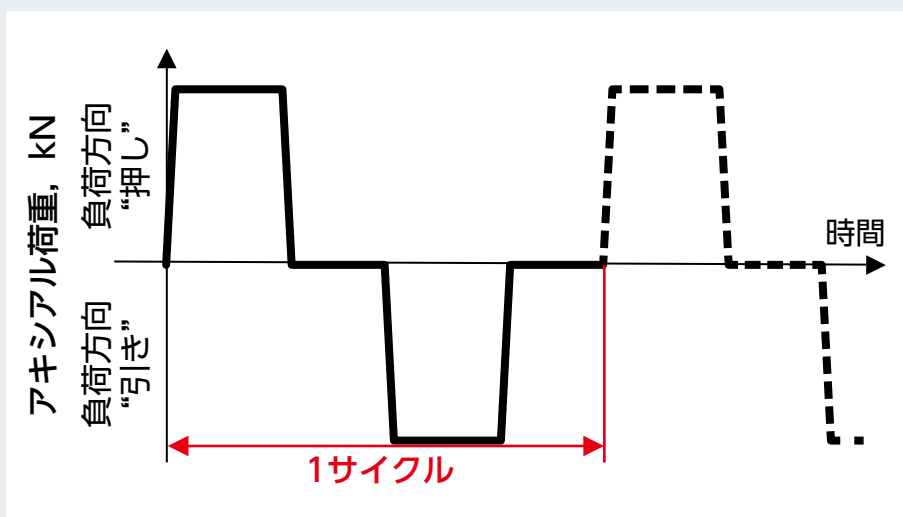


図8 台上耐久回転試験におけるアキシャル荷重負荷パターン

表3 台上耐久回転試験の結果

| 試験軸受 | 複列円すいころ軸受 | 複列円筒ころ軸受 |
|----------|-------------------------------|----------------------|
| 試験中の軸受温度 | 異常な温度上昇はなく一定温度で推移 : 良好 | |
| 試験後調査 | 軸受 | 異常は認められず : 良好 |
| | 油分析 | 管理基準値範囲内 : 良好 |
| | オイルシール | 異常は認められず : 良好 |

文献

- 鈴木政治：液体トライボロジー材料，RRR，Vol.57，No.3，pp.8-9，2000
- 中倉康喜，歌野敦夫：全般検査・台車検査周期延伸に向けた取り組み，Rolling Stock & Machinery，Vol.30，No.10，pp.24565-24568，2022
- 木川定之，鈴木淳一：寒冷地に対応した新幹線車両用ギヤ油を開発する，RRR，Vol.77，No.12，pp.8-11，2020
- 中村和夫，細谷哲也，日比野澄子，鈴木淳一，設楽裕治，平野亨：新幹線車両用合成系車軸軸受油の開発，日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，No.16，pp.185-188，2009
- 永友貴史：鉄道車両用軸受とその技術動向，トライボロジスト，Vol.63，No.2，pp.100-106，2018