

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 高速に対応する潤滑油と オイルシール

高速車両の走行装置で用いられる潤滑油は、日頃は私たちの目に付くことはありませんが、高速回転する部品の潤滑を担う上で高い信頼性が求められる重要な技術要素です。本稿では主に、速度を向上させることで発生する熱への対応の観点で、車軸軸受油、駆動装置ギヤ油と、車軸軸箱に装着されて車軸軸受油の漏れを防止するオイルシールの技術開発に関する鉄道総研の取り組みを紹介します。



曾根 康友  
Yasutomo Sone  
材料技術研究部  
潤滑材料研究室  
室長  
【専門分野】潤滑剤の化学

## 車両における潤滑の必要性

車両は私たちを乗せて高速で走行します。私たちが乗り込む車体の床下には台車があり、台車は車体の荷重を支えるほか、台車で発生するけん引力やブレーキ力を伝える役割を持っています。例えば電車の場合、台車内には主電動機とよばれるモーター、駆動装置、車輪、車輪がはめ込まれた車軸等、走行に関わる機器が配置されています。台車の潤滑箇所のうち動力に関わる部分の例を図1に示します<sup>1)</sup>。

電車の動力源は主電動機です。主電動機の回転軸の両端に使われている2個の軸受を主電動機軸受と呼びます。主電動機軸受にはグリースが充てんされ、主電動機軸等の荷重や主電動機の内部から発生する熱や振動を受けながら軸受を潤滑しています。

主電動機の回転は駆動装置へと伝達されますが、主電動機と駆動装置の間には継手が装着されています。継手は両者の間で生じる変位や振動を吸収する役割を持っています。継手にはいくつかの方式がありますが、その中で歯車型たわみ軸継手は、主電動機軸と小歯車軸につけた歯車と、外筒に加工さ

れた内歯とがかみあって駆動力を伝える仕組みです。歯車型軸継手にはグリースが充てんされており、歯車がかみ合う部分を潤滑しています。

駆動装置は主電動機の回転力を車軸に伝える部品です。車軸と小歯車軸に組み込まれた大小2つの歯車と、歯車をはめられた軸を歯車箱に固定する駆動装置軸受から構成されています。駆動装置にはギヤ油が充てんされており、歯車がかみ合う部分の潤滑と、小歯車軸受、大歯車軸受の潤滑も担っています。ギヤ油は歯車がかき上げることにより潤滑箇所へ到達し、それぞれの箇所を潤滑しています。

車軸は、左右両方の先端部に装着された車軸軸受を介して台車に固定されています。車軸軸受は、車両全体の重量のほか、車両の揺れによって発生する上下・左右方向の力を支えています。新幹線車両の車軸軸受には開業以来油浴潤滑が使用されており、車軸軸受油が潤滑しています。一方、1990年代半ば以降、グリース潤滑が導入されて、実績を積みつつあります。

このように、軸受や駆動装置がその機能を果たすために、潤滑油やグリー

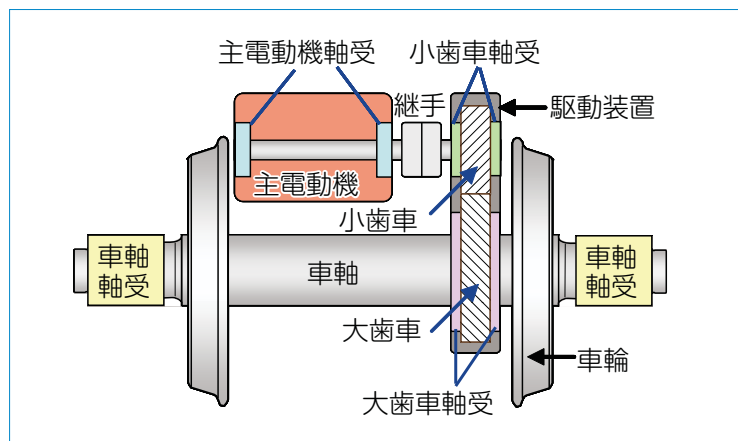


図1 台車における主な潤滑箇所 (電車の例)

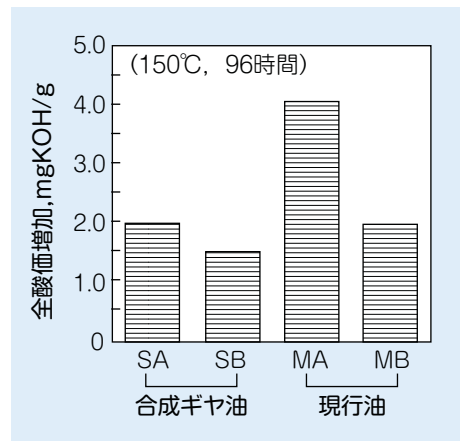


図2 開発ギヤ油の促進劣化試験結果

ス(☞参照)と一緒に充てんされており、潤滑することにより軸受や歯車の動作を保っています。高速走行を目指すにあたっては、潤滑油やグリースの信頼性の確保が必要です。

本稿では、電車の走行に関わる部品の潤滑部分に注目し、それぞれの潤滑油と、潤滑油が十分に機能を果たすために必要な部品であるオイルシールについて、鉄道総研における取り組みを、高速化を目指す観点から概説します。

### 駆動装置ギヤ油

#### 高速新幹線用合成ギヤ油の開発

新幹線のような高速車両の場合、最高速度に近い速度で運転される時間的な割合が多くなります。すると駆動装置で用いられるギヤ油は連続的な高温にさらされる機会が増えます。

高速化によってギヤ油の使用条件はどれくらい変化するのでしょうか。大型の実験装置で、実際の台車を用いて、高速運転を模擬した際の駆動装置周辺の温度を測定した例があります。それによると、300km/h走行相当の時にはギヤ油が周辺の温度に対して約80度上昇することがわかりました。この結果は、走行風による冷却を受けていない、走行している車両よりも過酷と考えられる条件でのものです。しか

し、この結果から推定すると、夏季に400km/hで走行する場合、ギヤ油の温度は一時的に最高150℃まで上昇すると想定されました。そこで鉄道総研では、熱酸化安定性の強化を目的として、合成油を基油とするギヤ油を開発しました<sup>2)</sup>。

新たに開発したギヤ油では、それまでの鉱物油に代わり、100%化学合成油を基油に選定して耐熱性を向上させるとともに、熱劣化に備える添加剤と軸受の焼き付きに備える添加剤を加えました。開発したギヤ油に対し、JIS K2514「内燃機関用潤滑油酸化安定度試験」に規定されるかくはん酸化試験である、ISOTと呼ばれる室内試験を実施しました。この試験は主にエンジンに用いる油の熱に対する耐久性を調べるための促進劣化試験として知られています。図2はその試験後に試料とした油を分析した中から、酸化劣化の指標を示したものです。合成ギヤ油2種類は現行油と比較して値が小さく、酸化劣化の進行が抑えられている結果が得られ、高速の新幹線での使用に適していることがわかりました。

この合成ギヤ油により、新幹線のさらなる高速化にも余裕を持って対応できると考えています。

### 車軸軸受油

#### 高速新幹線用車軸軸受油の開発

新幹線が開業した当時の車軸軸受の潤滑には、温度上昇に対応するため、低温流動性を向上させた精製鉱油に酸化防止剤、防錆剤を添加した専用の車軸軸受油が使われていました。

#### ☞ 潤滑油・グリース

軸受や歯車など機械部品の中で、すべり合う金属同士の摩擦や摩耗を、油の膜を作ることで軽減します。機械の円滑な運転を支えるとともに故障を防止しています。

潤滑油は液体で、大部分を占める基油と、基油にない性質を付加し、潤滑油全体の性能を向上させる添加剤とで構成されます。

一方、グリースは独特の粘りを持っており、半固体と分類されます。基油に、粘りを維持する材料である増ちょう剤を加えて作られます。多くのグリースには添加剤も含まれています。

基油は多くの場合、石油を精製して得られる「鉱物油」でしたが、化学合成によってできる「合成油」も使われるようになってきました。合成油は高価ですが、鉱物油にない特徴を持つので、高温、高回転数など厳しい環境での潤滑油に使用されています。

PAOは合成油の一種です。鉱物油と比べて酸化安定性に優れていることから本稿で紹介する技術開発において基油として選定しました。

表1 合成系車軸軸受油の台上試験後の劣化分析結果

	試作油の分析値	(参考) 新幹線車軸軸受油の管理基準値	備考
100℃における 動粘度変化率 (%)	- 4.0	± 10 以内	未使用油に対する粘度変化
酸価増加値 (mgKOH/g)	0.06	0.2 以下	酸化劣化の尺度
ヘプタン不溶分 (mass%)	0.01	0.2 以下	摩耗・劣化による生成物量の尺度



図3 合成系車軸軸受油の耐久試験後の試験軸受の状態

1992年に営業走行を開始した「のぞみ」では最高速度が270km/hに向上したほか、小型軽量化のため軸受の方式も変更されました<sup>3)</sup>。これらの変更により、車軸軸受油はより高い温度にさらされ、軸受の潤滑の役割もより重くなることから、新たな車軸軸受油が必要になると見込まれました。

鉄道総研では、基油である鉱油の精製度と酸化防止剤、摩耗防止剤の性能をより向上させ、耐酸化性、耐摩耗性を強化した車軸軸受油を開発しました。1990年代後半以降、現在も多くの車両で使われています。

#### さらなる高速化対応の取り組み

さらなる高速走行を目指す取り組みも見られます<sup>4)</sup>。そのため、より高速で使用できる車軸軸受油が必要になるものと考えられました。そこで鉄道総研では、基油の一部に、ギヤ油でも用いた合成油・PAOを導入し、添加剤の組成を見直して、合成系車軸軸受油を試作しました<sup>5)</sup>。実験室内での劣化

促進試験では、酸化劣化の程度等について上記の車軸軸受油よりもさらに優れた結果を示しました。

この良好な結果を受け、耐久性の検証を目的として、鉄道総研が所有する車軸軸受潤滑剤耐久試験装置を用い、実際の軸受を収めた軸箱に試作油を充てんし、荷重をかけて性能確認試験を実施しました。走行距離は、多くの場合の油交換周期である60万km走行相当の2倍の120万km走行での余裕の有無を調べるため、150万km走行相当としました。また、回転速度は420km/h相当としました。

試験後に試作油の劣化状況を調べた結果、表1に示すように、交換が推奨される値として鉄道総研が提案している管理基準値と比較して、各分析項目の値は小さく、劣化はほとんど見られませんでした。また、図3に試験後の軸受を示すように、使用前の新品と比較して外観変化が見られなく、寸法形状にも顕著な変化がありませんでした。

これらの結果から、この試作油をさらなる高速対応が可能な車軸軸受油として提案しています。さらに、油の交換周期の延伸にも対応可能です。

#### 車軸軸箱用オイルシールの高速化対応

##### オイルシールの役割

オイルシールとは、ゴム材料と金属の輪とから成り、くさび形の断面形状の「リップ」を有するパッキンのことです。液体である潤滑油が装置外へ漏れるのを防ぐのが目的の部品で、車軸軸箱や歯車箱など、固定部品に取り付けられます。リップは回転している車軸や車輪にはめられた部品と接触し、油漏れを防ぐと同時に、外部から装置内への塵埃や水分など異物の侵入を防止しています。

##### 高速新幹線車軸軸受オイルシールの開発

高速化により車軸軸受の回転数は高まり、油がかき混ぜられて発生する多くは熱に起因する温度上昇等により、

車軸軸受油の粘度は低下します。そこで、オイルシールが高速回転時に粘度が低下した油を漏らさない性能を備えていなければ、高速化はできません。ここでは、高速でも油漏れを防ぐオイルシールの開発についての鉄道総研の取り組みを紹介します<sup>6)</sup>。

はじめに、現行のオイルシールが高速時に性能を保てるか、試験機を用いた試験で確認しました。実物オイルシールを用い、振動およびトンネル突入を模擬した圧力変動を与えながら車軸を模擬した軸を回転させ、油漏れの状況を調べました。その結果、280km/h相当では少量のにじみが発生しただけでしたが400km/h相当まで速度を上げるとシール部から少量ながら油の滴下が発生し、漏れが発生しました。またその原因は、回転している軸と接触するリップの先端部でゴムおよび充てん剤が脱落するためであることがわかりました。

これに対し、リップの接触面にはく離の発生を抑制するゴム材料と充てん剤を適用することにしました。また、高速回転であるために増加する圧力変動により、リップの姿勢が大きく変化しないよう、リップ部の構造を変更する試作を行いました。試作品の外観と断面を図4に示します。

前述の試験機を用いた試験によって試作品の性能確認を実施したところ、図5のように、400km/h相当の高速条件でも漏れはなく、75万km走行相当まで密封性が維持されることがわかりました。試験終了後にシールを調査したところ、リップ部のゴム材料や充てん剤の脱落は見られず、漏れに対して重要な役割を持つ、リップが軸を締め付ける力にも大きな変化はないことがわかりました。

このオイルシールは現在一部の車両に搭載されています。

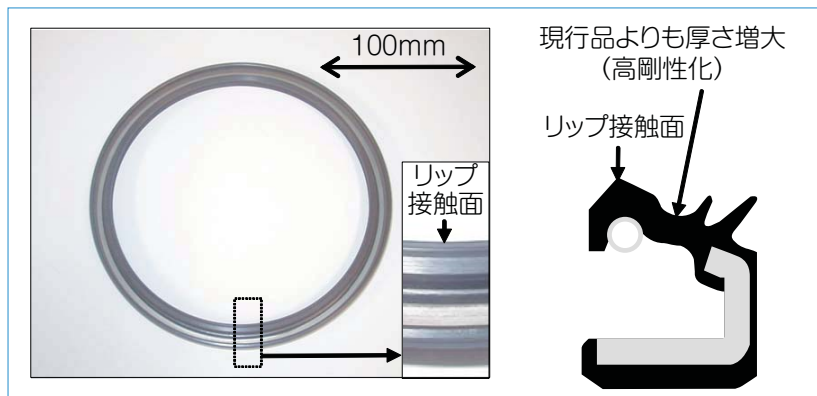


図4 試作シールの外観と断面

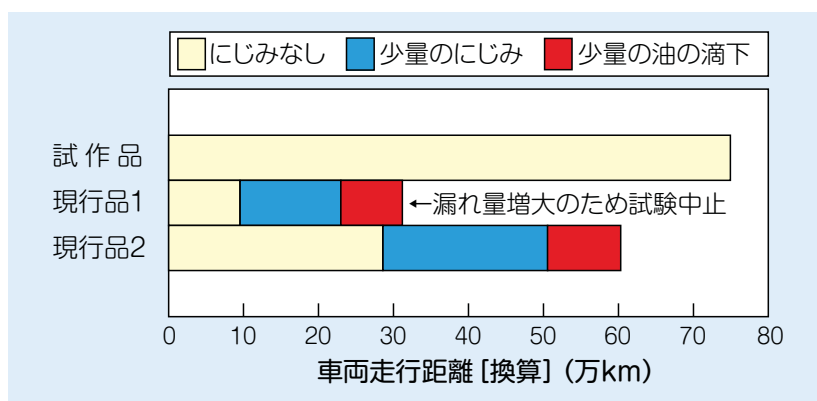


図5 試作シール台上試験結果

## おわりに

鉄道車両の走行部品で用いられる潤滑油と、その漏洩を防ぐオイルシールについて、新幹線の高速化への対応の観点で紹介してきました。

高速車両の走行部品で用いられている潤滑油は日頃は目に触れないものですが、安全・安定な運行を維持するためには高い信頼性が求められ、性能や仕様を考慮した上で専用が開発されたものが多くあります。鉄道総研では関係する皆様のご協力をいただきながらその性能向上や課題解決に努めて参ります。

なお、本稿で紹介した技術開発はそれぞれJX日鉱日石エネルギー株式会社、キーパー株式会社の各社と共同で実施しました。RRR

## 文献

- 1) 永友, 曽根: 転がり軸受と潤滑剤の寿命と信頼性, RRR, Vol.65, No.9, pp.20-23, 2008.9
- 2) 中村, 鈴木, 曽根: 高速化, 省メンテナンス化に寄与する合成ギヤ油, RRR, Vol.55, No.7, pp.18-21, 1998.7
- 3) 大山, 平沢: 鉄道車両用軸受の変遷(2), 鉄道車両と技術, Vol.2, No.10, pp.30-36, 1996.10
- 4) 遠藤, 田中, 齋藤: E5系新幹線電車(量産車)の概要, R&M, Vol.19, No.3, pp.4-9, 2011.3
- 5) 中村, 細谷, 日比野, 鈴木, 設楽, 平野: 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回鉄道技術総合シンポジウム(J-RAIL2009)講演論文集, pp.185-188, 2009.11
- 6) 中村, 細谷, 日比野, 半坂, 間々田, 吉田: 新幹線高速化のための車軸軸受用オイルシールの開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.5-10, 2008.4