

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

潤滑グリースの劣化を見極める

鉄道車両を構成する機械部品のうち、回転部で荷重を受ける軸受は、安全走行を支える重要な部品です。その軸受が滑らかに回転を続けるためには、潤滑剤の状態に注意を払う必要があります。潤滑剤が劣化によりその機能を失う前に交換・更新ができるよう、その劣化の程度を的確に評価・判定するための基準として、旧国鉄時代に従来の管理基準値が決められてから数十年が経過しました。そこで、潤滑グリースを現在の車両で使用した場合の劣化の進行と分析値との関係、劣化メカニズムの検討により、従来の基準値の一部を改訂した新基準値を紹介します。



日比野 澄子

Sumiko Hibino

材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員

【専門分野】潤滑油、グリース



鈴木 淳一

Jyunichi Suzumura

材料技術研究部
潤滑材料研究室
副主任研究員

【専門分野】潤滑油・グリース、潤滑剤劣化分析、トライボロジー



木川 定之

Sadayuki Kikawa

材料技術研究部
潤滑材料研究室
副主任研究員

【専門分野】潤滑油・グリース、潤滑剤劣化分析



曾根 康友

Yasutomo Sone

材料技術研究部
部長

【専門分野】潤滑剤の化学

はじめに

鉄道車両を構成する機械部品には、数多くの潤滑部分があります。とくに、高速で回転する車軸に取り付けられ、車体の重量や走行中に発生する変動荷重を支えている車軸軸受(図1)、電車の主電動機で高速回転する回転子の荷重を支える主電動機軸受(図2)は、車両の安全・安定走行を支える重要な部品です。これらの軸受が滑らかに回転を続けるために、潤滑剤(潤滑油・グリース)のメンテナンスには多くのノウハウが蓄積されてきました。そのひとつが、劣化により性能不足に至る前に余裕をもって潤滑剤を交換・更新できるよう「交換目安値を持つ」ことです。ここでは、グリースの交換目安値

である管理基準値の改訂について解説します。

車両と潤滑剤の関係

鉄道車両の定期検査入場の際には、軸受の潤滑剤が新品に交換されますが、出場後は、走行条件に応じた熱やせん断(たとえば、軸受の軌道面を転動体が転がることによりグリースが引き延ばされる力が作用すること)などを受けることにより、少しずつ劣化をしていきます。ここで、潤滑剤自体が劣化するのに加え、外部からの異物混入(水分など)あるいは内部で生成する摩耗粉やスラッジなどにより、その劣化はさらに進行します。潤滑剤の劣化を完全に避けることはできないため、常に健全な潤滑状態で使用するためには、劣化がどこまで進行したら潤滑剤を交換すべきか事前に取り決めておく必要があります。

健全な潤滑状態とは、軸受にとっては、「滑らかに動く・摩擦が小さい・エネルギーロスがない」「摩擦が発生しない」ことであり、これを潤滑剤の側からみれば、「せん断に対して抵抗が小さい」「荷重に対して十分な油膜

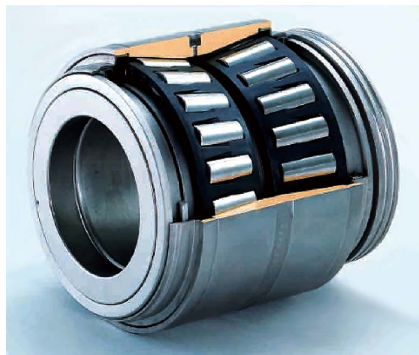


図1 車軸軸受の一例(カットモデル)¹⁾

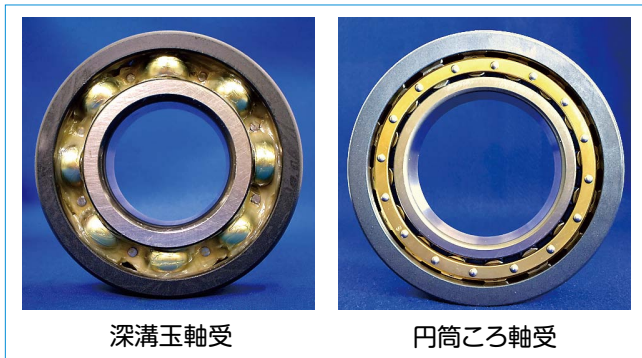


図2 主電動機軸受の一例

表1 従来のグリース管理基準値²⁾

管理項目	管理基準値	
	車軸軸受	主電動機軸受
ちょう度 (硬さ)	100 ~ 400	150 ~ 350
鉄分	≦ 1.0%	≦ 0.5%
銅分	≦ 0.3%	≦ 0.3%
酸価 (オレイン酸)	≦ 5.0%	≦ 5.0%
滴点変化値	± 20℃	± 20℃
油分離率	≦ 30.0%	≦ 30.0%
水分	≦ 5.0%	≦ 5.0%

厚さが確保され、金属面同士が接触しない」ということになります。

台上試験であれば、回転している軸受のトルクを測定したり、あるいは潤滑面を直接観察したり、といった工夫ができる可能性があります。現車ではそういった潤滑状態のモニタリングは困難であるため、その代わりに、軸受から潤滑剤を採取し、劣化程度を評価することにより、軸受内での潤滑状態を推定しています。

グリース劣化の指標

潤滑剤の劣化状態をとらえる指標として「管理項目」が定められています。潤滑油 (液体) と潤滑グリース (半固体) では、評価方法が異なります²⁾ ので、以降はグリースの評価方法に関して述べます。

グリースは、液体である潤滑油成分中で増ちょう剤成分が網目構造を形成することにより半固体状を保っています。鉄道車両用軸受グリースの劣化判定に使用されてきた管理項目は、ちょう度 (グリースの硬さ)、金属分 (鉄分・銅分) (摩耗の有無)、酸価 (酸化劣化)、滴点 (加熱による滴下温度)、油分離率 (どれだけの割合の基油が失われたか)、水分 (混入の有無) の7項目²⁾、ちょう度、滴点、油分離率はグリース特有の項目になります。

ちょう度とは、半固体であるグリースの硬さ/軟らかさを評価する項目で

す。垂れ落ちやすさの目安となり、作業上の取り扱いやシール性能に合わせて選択されます。劣化によりちょう度が増えると、軟らかくなって漏洩したり、逆に硬くなって潤滑面に入りにくくなる可能性があります。

滴点とは、グリースを加温することにより、油が分離あるいはグリースそのものが液状³⁾ になり最初に滴下したときの温度を指します。グリースの耐熱性の尺度となり、使用温度に対して十分に高い滴点を持つグリースが選択されます。グリース中で網目構造を形成する増ちょう剤成分が劣化すると、滴点が増えますが、そのほかの原因 (グリース中の油分減少など) の影響を受ける場合もあります。

油分離率とは、グリース中の油分が潤滑面への供給あるいは蒸発などにより、どの程度減少したかを表す尺度です。鉄道総研方式 (後述) では、「使用後のグリースが本来持っているべき油量 (同量の使用前グリースに含まれる油量) に対する、失った油量の割合」 (= 分離油量 / 使用前の油量) で表します。

グリースの管理基準値

旧国鉄時代に、各々の管理項目に対して、当時の車両で使用されたグリースの劣化分析データから、交換が必要な劣化程度の目安として「管理基準値」が定められました (表1)。

なお、管理基準値として最初にまと

まった記述がみられるのは、1980年の文献⁴⁾ です。その中で、グリース管理基準値の位置づけについては以下のように述べられています。

「管理基準値については、今までの蓄積されたデータをもとに経験的に定めたものであり、ほかの潤滑剤の場合と同様、これらの値を超えたからといって直ちに軸受などが損傷するというものではなく、むしろ使用限度の目安と考えるべき性質のものである。しかし、これらの値を超えたグリースの継続使用は軸受に悪影響を及ぼしたり、潤滑性能が急激に低下する危険性があるといえる。」

グリースの管理基準値は、グリースの劣化状態の評価・判定、グリースの交換時期 (頻度) の決定、検査周期延伸の可否判定の根拠として広く使用されてきましたが、近年、判定が困難な事例がいくつか出てきたことから、今回の改訂に至りました。

改訂の方法

改訂にあたっては、現在走行しているJRの車両で使用されたグリースを改めて採取・分析し、劣化状態を検討しました。

採取対象は車軸軸受 (分析は複列軸受の車輪側B列について実施) および主電動機軸受 (駆動側: 円筒ころ軸受、反駆動側: 深溝玉軸受) としました。

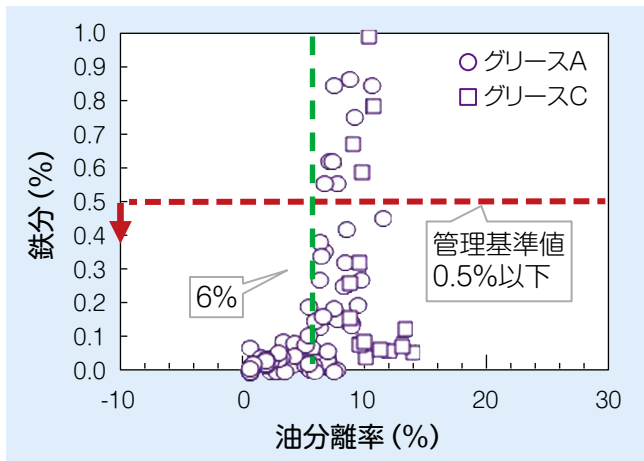


図3 主電動機軸受グリースの油分離率と鉄分の関係⁶⁾

改訂の経緯とポイント

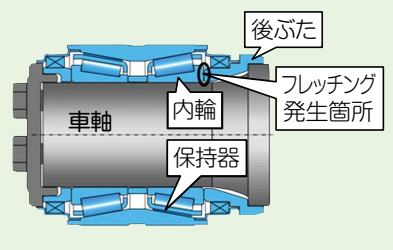
今回の改訂では、表1に示す管理項目のうち、鉄分、滴点、油分離率の3項目について変更を加えています。改訂に至る経緯と改訂のポイントを解説します。

(1) 鉄分

軸受内で摩耗が進行していないことを直接確認するためには、グリース中に含まれる鉄分を測定することが有効です。しかし、車軸軸受においては、軸受の外(内輪と後ぶたの接触部)でしばしばフレッチング(※参照)が発生し、その摩耗粉が、軸受内のグリースへ混入します。その場合、内部から発生した摩耗粉と区別できないために、

※ フレッチング

微小振幅の相対運動を受ける二面体間に発生する表面損傷の総称。フレッチング摩耗粉の生成がともない、二面体が鋼の場合、摩耗粉は赤褐色を呈します。鉄道車両では車輪と車軸のはめ合い部や車軸軸受の内輪と後ぶたの接触部などで発生する場合があります⁵⁾。



軸受内部の摩耗を正確に評価できないという問題点がありました。

そこで、改訂後は車軸軸受グリースの鉄分の基準値は変更しませんが、フレッチング摩耗粉の混入が明白な場合、グリースのみからの判断ではなく、軸受の摩耗状態の確認を併用して良否を判断することとします。また、基準値を超えた場合は、フレッチング発生の有無にかかわらず、グリース交換を推奨します。「超えた場合」としたのは、フレッチングは使用履歴に関わらず起こり、事前に発生を予測し、超える前に交換することは難しいためです。主電動機軸受では、フレッチング摩耗粉の混入は発生しないため、扱いに変更はありません。

(2) 滴点変化値

近年、主電動機軸受グリースとして広く使用されているリチウム複合石けんを増ちょう剤とするグリース(以下、リチウム複合石けんグリース)において、ほかの管理項目の劣化が小さいにもかかわらず、滴点のみが管理基準値を下回る現象がみられていました。

リチウム複合石けんグリースでは、製造工程においてリチウム石けんを複合化することによりグリースの滴点を上げていることから、その滴点降下のメカニズムについて検討し、「リチウ

ム複合石けんの増ちょう剤構造」が変化する過程と、「リチウム石けんの増ちょう剤構造」が変化する過程に分けて考えることにしました。前者については、リチウム石けんとしての構造は保っていると思われること、また、実際の使用温度との差が十分にあることを考え合わせて、現車で実績のある別銘柄のリチウム石けんグリースの新品の滴点と同程度までは許容し、管理基準値をリチウム石けんグリースの滴点(190~215℃程度)を基に、215℃と決めました。これは、当該グリースの使用温度上限は150℃であり、一般に、グリース性能を表記する上で、滴点の7割程度を使用温度上限に定めていることとも合致します(215℃×0.7=150.5℃)。ただし、上記のメカニズムによる滴点降下であっても、増ちょう剤が変質すると同時にその一部は増ちょう作用を失うと考えられることから、油の保持能力が弱くなり、かつ離油性能も変化すると考えられます。その結果、リチウム石けんグリースとまったく同等の性能が期待できるわけではないことに注意が必要です。

また複合石けんの劣化・変質がグリース寿命に与える影響は否定できないため、リチウム複合石けんグリースとして必要とされる滴点の260℃

表2 油分離率および油分離量の計算式

(a) 油分離率 (鉄道総研方式)	$\frac{B_0 - B}{B_0} \times 100 [\%]$
(b) 油分離量 (JAST方式)	$\frac{T - T_0}{T} \times 100 [\%]$

B_0 …未使用グリースの油分

B …使用後グリースの油分

T_0 …未使用グリースの増ちょう剤分

T …使用後グリースの増ちょう剤分

表3 改訂した管理基準値(黄色=改訂箇所)

管理項目	管理基準値		分析方法
	主電動機軸受	車軸軸受	
ちょう度 (25℃・不混和)	150～350	—	広がりちょう度法
酸価 (オレイン酸換算)	—	100～400	1/4 ちょう度試験方法 (JIS K 2220)
油消耗率 (油分離率から名称変更)	5.0%以下		赤外分光分析法による オレイン酸をモデル物質とした定量法
滴点	リチウム複合石けんグリース： 215℃以上 (警戒値：240℃) 上記以外：± 20℃ (変化値)		メムレンフィルターろ過法
鉄分	0.5%以下	1.0%以下*2	滴点試験方法 (JIS K 2220)
銅分	0.3%以下		蛍光X線分析法
水分	5.0%以下		蛍光X線分析法 カールフィッシャー式容量滴定法 (JIS K 2275)

* 1 使用後のグリースが失った油量の割合から算出する。計算式は表2(a)による。

* 2 車軸軸受でフレッチング摩耗粉の混入が明らかな場合には、管理基準値(1.0%以下)でのグリース交換を推奨し、使用状態は軸受の状態などの確認を併用し評価する。

に対し、従来の下限側の管理基準値(−20℃)を参考に、240℃を警戒値とします。なお、リチウム複合石けん以外の増ちょう剤を使用したグリースは管理基準値を変更しません。

(3) 油分離率

①主電動機軸受グリース

現車の主電動機軸受から採取したグリースの分析結果から、一部の銘柄のグリースにおいて、油分離率が約6%を超えると、主電動機軸受における鉄分の管理基準値(0.5%)を超えて鉄分が増加する傾向が認められました(図3)⁶⁾。これは、潤滑部への油分の供給不足により摩耗が進み鉄分が増加したためと考えられます。なお、ほかのグリースでは、このような明確な相関は認められませんでした。

また、通常の使用状態では油分離率が15%以内に収まっており、従来の管理基準値(30%)は判定基準として過大であることがわかります。

前者(6%)は「警戒値」、後者(15%)は「交換推奨値」という性質のもので、従来の管理基準値は、後者の交換推奨値に当たることから、油分離率の管理基準値は従来の30%から実際の劣化状態に則した15%に変更し、鉄分が増加傾向に転じる6%を警戒値として併記することとしました。

②車軸軸受グリース

車軸軸受グリースについては、主電動機軸受グリースにみられたような油分離率と鉄分の相関はみられませんでした。これは、主電動機軸受と比較して車軸軸受はグリース封入量が多いためと考えられます。よりグリース量が少なく潤滑条件が厳しいと思われる主電動機軸受での結果を準用することとしました。

③計算方法および分析方法

油分離率(鉄道総研方式)と類似した値として、「油分離量(日本トライボロジー学会(JAST)方式)」があり、計算方法(表2)と算出結果が異なるため、新基準値を定めるにあたって計算方法を明確にする必要がありました。検討の結果、もともと、管理基準値は「鉄道総研方式」にて定められた値であること、JAST方式は、使用開始から分析時点までの離油能力を表し、劣化評価には「鉄道総研方式」の方がふさわしいことから、新基準値を使用する場合も、鉄道総研方式の計算方法を踏襲することとしました。今回、鉄道総研方式の「油分離率」の名称を「油消耗率」に変更し、分析方法についても変更しました⁶⁾。必要に応じて、従来法でも確認を行います。

これからの管理基準値

改訂した管理基準値を表3に示します。管理項目は、グリース自体の劣化(ちょう度、酸価、油消耗率、滴点)、異物混入(金属分、水分)による劣化の順に記載しています。

おわりに

グリースの管理基準値の改訂内容について解説しました。今後、従来の管理基準値に替えてグリースの使用状態の評価、交換頻度の決定、検査周期延伸の可否判定の根拠として活用していきます。RRR

文献

- 1) 上野正典：鉄道車両用軸受について、鉄道車両工業, No.478, pp.37-38, 2016
- 2) 鈴木政治：液体トライボロジー材料, RRR, Vol.57, No.3, pp.8-9, 2000
- 3) 日本トライボロジー学会編：トライボロジーハンドブック, 養賢堂, p.712, 2001
- 4) 鈴木八十吉：使用グリースの劣化判定, 鉄道技術研究資料, Vol.37, No.2, pp.89-94, 1980
- 5) 鉄道総合技術研究所編：鉄道技術用語辞典第3版, 丸善出版, 2016
- 6) 日比野澄子, 鈴木淳一, 木川定之, 曾根康友：車両用潤滑グリースの新しい管理基準値の提案, 鉄道総研報告, Vol.31, No.8, pp.5-10, 2017