

車両用潤滑グリースの新しい管理基準値の提案

日比野 澄子* 鈴木 淳一*
木川 定之* 曾根 康友**

Revision of Evaluation Criteria to Check Deterioration in Lubricating Grease Used on Trains

Sumiko HIBINO Junichi SUZUMURA
Sadayuki KIKAWA Yasutomo SONE

The maintenance of running gears is indispensable to maintain the safety operation of railway vehicles. Therefore, in the case of axle boxes or traction motors, lubricants for bearings are replaced periodically to keep their functional capability. Lubricant deterioration depends on its service conditions, so some criteria was necessary for evaluating deterioration in the grease. Based on the correlation between the analysis data and the deteriorating process of lubricating grease on board, judgment criteria called 'KANRI KIJUNCHI' were set in 1980s and have been used widely until today as a guide for the replacement of grease. This time, we reset the criteria based on the current running conditions.

キーワード：潤滑グリース，鉄道車両，軸受，メンテナンス，管理基準値，交換

1. はじめに

鉄道車両機器で使用される潤滑油・グリースなどの潤滑剤は、その劣化により潤滑性能が徐々に低下する。車両のメンテナンスにおいては、機器の状態を健全に維持するため、潤滑剤が性能不足に至る前に余裕をもって交換することが望ましいが、劣化の進行は車両の走行条件によって異なるため予測が難しく、実効的な交換のタイミングを見極めることは容易ではない。そこで、旧国鉄時代に、潤滑剤の劣化分析の経験から、劣化状態をとらえる指標として「管理項目」が、実物の車両で使用された潤滑剤の劣化データから、交換が必要な劣化程度の目安として「管理基準値」が定められた。

この管理基準値を用いた潤滑剤の劣化評価とは、対象となる潤滑剤を機器から採取し、管理項目について分析値を求め、管理基準値と比較することにより、劣化状態の判定、継続使用の可否を判断するものである。

潤滑グリースの管理基準値は、グリースの使用状態の評価・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た。

近年、これまでと異なる劣化傾向を示すグリースの出現や走行条件の変化等により、従来の管理基準値では評価が難しい事例が出てきたことから、現状の使用条件にあわせて管理基準値の改訂が必要となった。そこで、各管理項目の新たな管理基準値について検討するとともに、各項目に適した分析方法についても検討した。

* 材料技術研究部 潤滑材料研究室

** 材料技術研究部

2. グリースの管理基準値と改訂経緯

2.1 管理項目と従来の管理基準値

鉄道車両用グリースの管理項目は、ちょう度（グリースの硬さ）、金属分（鉄分・銅分）、酸価、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）、水分の7項目である¹⁾。表1にそれぞれの管理項目に対する従来のグリース管理基準値を示す。グリースは、液体である基油に増ちょう剤を加えることにより半固体状を保っている。ちょう度、滴点、油分離率はグリース特有の項目となっている。

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²⁾である。項目としては、現在の7項目の他、添加剤である酸化防止剤の消耗についても検討されていた。その中で、グリース管理基準値の位置づけについて以下のように述べられている。

表1 従来のグリース管理基準値¹⁾

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%

「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、他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。」

2.2 現状の問題点

表1に示す管理項目のうち、鉄分、滴点、油分離率については、以下に示すように、一部、従来の管理基準値による評価が難しくなっている。

- (1) グリースの劣化による潤滑不良や外部からの異物混入は、軸受の軌道面や転動面などの摩耗を促進する原因になる。そのため、鉄分を軸受内部の摩耗程度の目安としているが、車軸軸受では内輪と後ぶたの接触部（図1）で発生するフレッチングによる摩耗粉のグリースへの混入がしばしば見られ、それが管理基準値超過の要因となり、軸受内部の摩耗を正確に評価できない場合がある。
- (2) 滴点は、グリースの耐熱性の指標とされ、グリースを加熱した場合に液体になって垂れ落ちる温度である。金属石けん系グリースでは、金属石けんが基油中に溶解する温度となる³⁾。鉄道では、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、他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見られており、その評価について検討が必要である。
- (3) 油分離率の求め方には、鉄道総研の計算方法と日本トライボロジー学会による計算方法（以下 JAST 方式）があり、両者の計算結果が異なるため、どちらの方法を採用するか、整理が必要である。
- (4) 全ての項目に共通する問題点として、複数の分析方法がある管理項目については、分析方法が異なると分析値に差異が生じる場合があることが挙げられる。そのため、分析方法を指定した上で管理基準値の設定することが必要である。

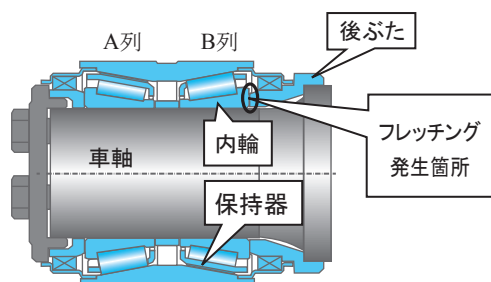


図1 車軸軸受のフレッチング発生箇所

3. 管理基準値の改訂

従来の管理基準値は、その設定時に使用されていた車両でのグリース分析データの蓄積から経験的に定めたものであり、その後の車両の走行条件やグリース性能の変化は反映されていない。そこで、改訂にあたっては、JRの車両で使用されたグリースを改めて採取・分析し、劣化状態を検討した。調査を行ったグリースを表2に示す。

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（歯車側：円筒ころ軸受、反歯車側：深溝玉軸受）とした。対象車両には例えば、1日あたりの走行距離が長い、降雪が多い区間、山岳線区、海岸を主に走行する等、走行条件等に特色がある車両をあげ、その中から使用グリース銘柄等を考慮し、前回のグリース交換からなるべく長距離の走行を経ている車両、動力車等の軸重が大きい車両、使用条件が厳しいと思われる車両から優先的に採取することとした。ただし、使用中で中間給脂を行なった主電動機のデータは除外した。

なお、本調査は、現在使用されているグリース銘柄に対して網羅的に行っているが、今後使用の拡大が見込まれる合成油系グリース（基油として合成油を使用しているグリース）については、従来の鉱油系グリース（基油として、精製した鉱油を使用しているグリース）と劣化過程が異なると考えられており、今回改訂した管理基準値の適用可否を含めて、検討が必要である。

3.1 鉄分

3.1.1 車軸軸受グリース

現車から採取した車軸軸受グリースの鉄分を図2に示す。2.2項でも述べたように、車軸軸受において、内輪と後ぶた間のフレッチングによる摩耗粉が軸受内グリー

表2 調査グリース種類（全て鉱油系グリース）

	グリース表記	増ちょう剤種類	混和ちよう度 (25℃)	滴点 (℃)
車軸軸受用	車軸 A	リチウム／カルシウム混合石けん	294	177
	車軸 B	リチウム／カルシウム混合石けん	297	177
	車軸 C	リチウム石けん	280	186
	車軸 D	ナトリウム石けん	232	212
主電動機軸受用	主電 A	リチウム複合石けん	280	260以上
	主電 B	リチウム石けん	278	212
	主電 C	リチウム石けん	280	186
	主電 D	ウレア	279	280

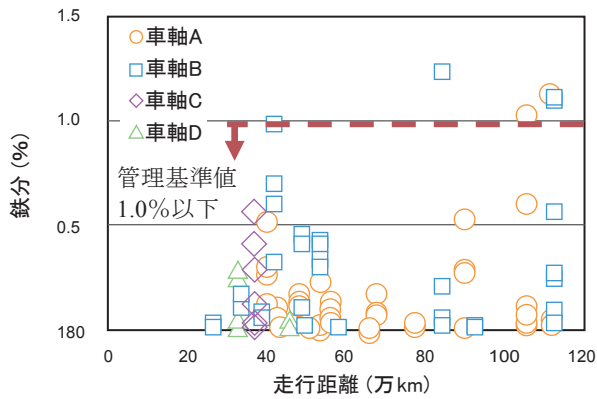


図2 車軸軸受グリースの鉄分

スに混入することにより、鉄分の分析値が大きくなる場合がある。その場合、グリースが外観上赤褐色を呈していれば、明らかにフレッチング摩耗粉の混入と判断できる。一方、鉄分の分析値において、フレッチング摩耗粉と軸受内部の摩耗に起因する鉄分とを区別することは難しいため、どのように評価するかが問題となっていた。

フレッチング摩耗が機械に及ぼす影響として「摩耗粉が混入することによる潤滑油剤の劣化」が挙げられている³⁾。一般に、摩耗により発生した金属粉は加工硬化などにより母材より硬く、アブレイブ摩耗を引き起こすが、フレッチング摩耗粉は粒径が小さいため、微細な酸化粉と金属粉の凝集部を介した接触部は、緊密な金属接触を防ぐ作用を持ち、その混入は、摩耗を加速する作用と軽減する作用を持っている⁴⁾とされる。したがって、フレッチング摩耗粉が、軸受の潤滑にどのような影響を及ぼすかは明確ではない。そこで、フレッチング摩耗粉を模擬した微小粒径の酸化鉄粉（酸化第二鉄、代表粒径約0.5 μ m）をグリースに混入して小型軸受による潤滑寿命試験を行った。この結果、車軸軸受における鉄分の管理基準値である1%程度を混入した場合と混入なし（0%）の場合で潤滑寿命に明確な差が見られなかった。このことからフレッチング摩耗粉の影響は、通常想定される摩耗粉よりも緩慢であるものと推定された。

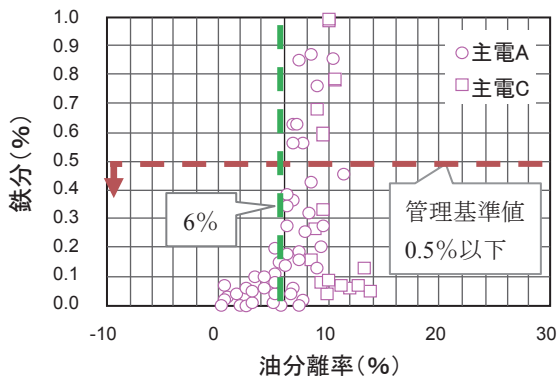


図3 主電動機軸受グリースの鉄分と油分離率の関係

しかしながら、前述のように、外部から混入したフレッチング摩耗粉と内部から発生した摩耗粉を区別できないことから、車軸軸受グリースの鉄分の管理基準値は変更せず、管理基準値を超えた場合には、従来通りグリース交換を推奨する。

また、車軸軸受においてグリースへのフレッチング摩耗粉の混入が明白な場合には、内部の摩耗の進行について鉄分から判断することができないため、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する。また、フレッチング摩耗粉が明らかに軸受に混入している場合には、混入防止策をとることを推奨する。

3.1.2 主電動機軸受グリース

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、改訂は行わず、従来通りの扱いとする。

3.2 油分離率

3.2.1 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データをグリース銘柄ごとに検討した。同じ傾向が見られたグリース（主電A・C）について、油分離率と鉄分の関係を図3に示す。油分離率が約6%を超えると鉄分が増加する傾向が認められた。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る。なお、他のグリースでは、このような明確な相関は認められなかった。

以上から、主電動機軸受における鉄分の管理基準値（0.5%）を考慮すると、鉄分の増加が認められる6%前後が油分離の進行を判断する一つの目安値となる。一方で、油分離率が6%を超えても鉄分が少ないデータもあり、摩耗の進行度合いが異なるものが混在している。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る。図3に示したデータは全て実走行においては問題なく入場し、グリース交換の時期を迎

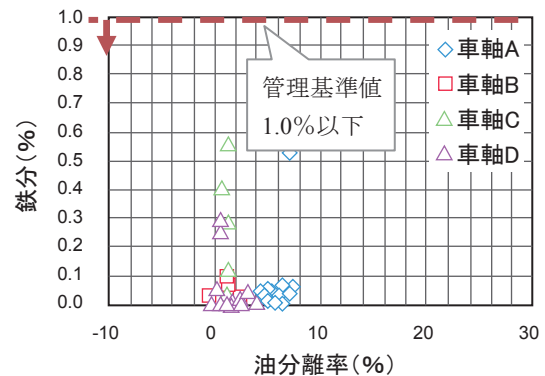


図4 車軸軸受グリースの鉄分と油分離率の関係（フレッチング摩耗粉混入疑いがあるものを除く）

特集：材料技術

えた車両のグリース分析結果であり、15%前後までは軸受の使用に問題が発生しなかったと考えられるため、この値も1つの目安値である。

前者(6%)は「警戒値」、後者(15%)は「交換推奨値」という性質のものとする。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する。

3.2.2 車軸軸受グリース

車軸軸受グリースについて、油分離率と鉄分の関係を図4に示す。なお、明らかにフレッチング摩耗粉の混入があったグリースの分析値は除外した。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見られない。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る。油分離率の最大値は8%程度であり、主電動機軸受と比較して小さい傾向がある。

主電動機軸受と同じ考え方を車軸軸受グリースの分析結果に適用した場合、管理基準値は8%となるが、それを超えた場合に潤滑状態が悪化するという根拠がないため、よりグリース量が少なくその劣化度が潤滑状態に反映していると思われる主電動機軸受での結果を準用することとする。現状では、車軸軸受グリースには、フレッチング摩耗粉の混入が多く見られるため、警戒値の設定はできない。フレッチング対策を行って、その影響を排除した後、油分離の進行に従った鉄分増加の傾向が明らかになれば、新たに警戒値を設定できる可能性がある。

3.2.3 計算方法および分析方法

油分離率の計算方法(表3)は前述のように「鉄道総研方式」と「JAST方式」があり、管理基準値は「鉄道総研方式」にて定められている。なお、JAST方式では「油分離量」と呼んでいる。計算式の意味合いから、鉄道総研方式では、「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)に対して、失った油量の割合」(=離油量/使用前の油量)を表すのに対し、JAST方式では、「増ちょう剤量在使用前後で変わらない場合における、使用前グリース1gあたりの分離した油量の割合」(=離油量/使用前のグリース量)を表している。

JAST方式は上述より、使用開始から分析時点までの離油能力を表している。すなわち、グリースを油のリザーバと考え、グリースが持つ油の供給能力(離油性能)を評価する指標として用いられている。使用条件の過酷度によって油分離の割合は変化するが、適度な油分離速度をもつグリースが良好な潤滑効果を発揮することができる⁵⁾。このような離油性能の評価は、油分離の進行を劣化ととらえる劣化評価とは観点が異なる。

さらに、JAST方式の油分離量は、使用開始からの離油率であり、分析時点以降の離油性能を保証するものではない。劣化分析において必要なのは、現時点で使用できるか否かであり、以下でこの点に着目して両者の得失を比較する。

JAST方式による算出の際には、使用による減量は油のみであるという仮定の下、元のグリース量が分からないという計算上の難点をクリアしている。しかし、現実の使用においては、グリースが転がり軸受内で激しく攪拌され、グリースそのものが内部で移動することがあり得る。そのような条件下では、増ちょう剤量を一定と仮定した計算結果から導き出される数値が実物の何を表現するのか、解釈が難しい。

それに対して、鉄道総研方式は、離油に従って進行するグリース中の油の消耗を評価しようとしている。一般に、グリース中の油分が40~60%以下になると増ちょう剤から油が分離しなくなり潤滑寿命に達すると考えられている⁶⁾。また、全基油中の約20~25%は増ちょう剤との分子間力によって増ちょう剤に保持されており、潤滑に寄与することは少ないのに対し、残りの基油は毛細管作用によって網目構造の間隙に保持されており、自然に分離して潤滑に寄与すると考えられている⁶⁾。このように、潤滑に寄与できる油量のうち「どのくらい消耗しているか」は継続使用の可否判断において重要な意味をもつ。

したがって、新基準値を使用する場合の劣化度の算出にあたっては、鉄道総研方式の計算方法を踏襲する。

表3 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)	$\frac{T - T_0}{T} \times 100[\%]$

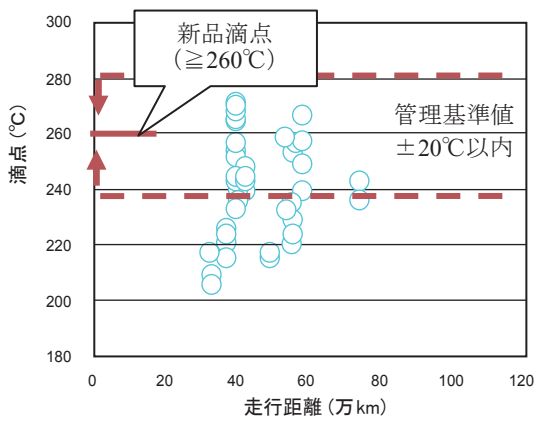
B₀…未使用グリースの油分、B…使用後グリースの油分
T₀…未使用グリースの増ちょう剤分、T…使用後グリースの増ちょう剤分

JAST方式と鉄道総研方式では、その考え方や算出の目的が異なるため、両方法の統一はしないが、似た概念の2種類の評価値が紛らわしい名称で存在することは好ましくないため、鉄道総研方式の「油分離率」の「名称」を「油消耗率」に変更する。

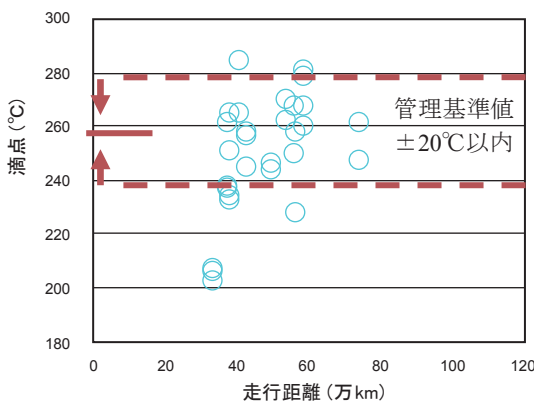
また、油分離率は、従来、ソックスレー抽出法により分析してきたが、溶媒の加熱を必要とし、抽出時間を要することから、メンブレンフィルターろ過法に変更する。

3.3 滴点

滴点は、耐熱性の指標であるが、使用グリースの滴点が低下しても滴点と使用温度との差が十分にある場合に



(a) ころ軸受



(b) 玉軸受

図5 主電動機軸受グリースの滴点
(グリース種類：主電A)

は、当面の不具合は生じず、潤滑状態や潤滑寿命に及ぼす影響が明らかでないことから、実用上の扱いや解釈が難しかった。こういった背景から、しばしば（グリース採取量が足りない場合に）滴点以外の管理項目の分析と判定が優先されてきた。

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グリースでは、その滴点が「260℃以上」となるよう製造管理されており、実際は、製造ロットによって260～290℃程度の範囲内にある。したがって、劣化管理の際に、ロットごとの新品時の滴点がわからなければ、従来の管理基準値（±20℃）のように、変化値で管理するのは難しい。図5に現車の主電動機軸受から採取したグリースの滴点を示す。他の管理項目は管理基準値を満たしていた。

一般に、滴点は、増ちょう剤の金属石けん結晶が液晶あるいは熔融状態へ転移する温度（転移点）に相当するものであるが、常温から液状化に至るまでの温度範囲にはいくつかの転移点があり、滴点よりも低い温度で転移してしまうとグリースは回復不能の変化を起こして使用に耐えなくなる⁷⁾。使用中にこのような転移点以上にさ

らされる回数や時間等の温度履歴さらには異物混入等の影響により、増ちょう剤の結晶構造が崩れていくことで滴点が下がるものと考えられる。したがって、滴点の降下は増ちょう剤の変質を確認する重要なファクターと考えられるため、引き続き管理項目の一つとする。

また、リチウム複合石けんグリースでは、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ため、この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とする。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（表2）と同程度までは通常の劣化範囲として許容し、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℃と定める。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する（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も変化する。その結果、リチウム石けんグリースと全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ある。

また複合石けんの劣化・変質が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℃に対し、従来の下限側の管理基準値（-20℃）を参考に、240℃を警戒値とする。一方、油分が減少した場合は滴点が上昇する可能性があるが、他の項目（油分離率、金属分）で確認することとする。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ない。分析方法は従来通り「滴点試験方法」（JIS K 2220.8.4:2013）とする。

4. これからの管理基準値

以上の検討により、表4に示すように管理基準値を改訂する。管理項目は、グリース自体の劣化と外部からの異物混入による劣化の順に記載している。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する。改訂内容を以下にまとめる。

(1) 油分離率

名称を「油消耗率」に変更する。管理基準値を、従来の30%から実際の劣化状態に則した値（15%）に変更し、鉄分が増加傾向に転じる警戒値（6%）を併記することとする。分析方法は、従来のソックスレー抽出法からメ

表4 改訂した管理基準値（網掛け部＝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	150～350 (25℃・不混和)	100～400 (25℃・不混和)	車軸：1/4 ちょう度計④ 主電動機：広がりちょう度計
酸価 (オレイン酸換算)	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
油消耗率①	15.0%以下（警戒値 6.0%）②		メンブレンフィルターろ過法⑤
滴点	リチウム複合石けんグリース： 215℃以上（警戒値：240℃）		滴点試験方法④
	上記以外：± 20℃（変化値）		
鉄分	0.5 %以下	1.0 %以下③	蛍光 X 線分析法
銅分	0.3 %以下		蛍光 X 線分析法
水分	5.0 %以下		カールフィッシャー水分計⑥

① 従来の油分離率から名称変更した。 ② 使用後のグリースが失った油量の割合から算出する。

$$\text{油消耗率} = \frac{B_0 - B}{B_0} \times 100[\%] \quad B_0 \cdots \text{未使用グリースの油分}, B \cdots \text{使用后グリースの油分}$$

- ③ 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等の確認を併用し評価する。 ④ JIS K2220 による。
⑤ 必要に応じて、従来のソックスレー法で確認する。 ⑥ JIS K2275 による。

ンブレンフィルターろ過法に変更する。

(2) 滴点

リチウム複合石けんグリースについてのみ、管理基準値を 215℃と定める。また、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℃に対し、240℃を警戒値とする。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では管理基準値を変更しない。分析方法は従来通り滴点試験方法（JIS K 2220.8.4:2013）とする。

(3) 鉄分

管理基準値は変更せず、管理基準値を超えた場合には、従来通りグリース交換を推奨する。車軸軸受においてグリースへの外部からのフレッチング摩耗粉の混入が明白な場合に、使用状態の評価については、軸受の状態確認を併用して判断することとする。分析方法は従来通り（蛍光 X 線分析法）とする。

5. おわりに

鉄道車両で使用されるグリースの劣化管理において、管理基準値の役割は大きい。その判定の信頼度を維持しつつ、今後の劣化評価を合理的に行うために、現状のグリース劣化状況を調査・整理し、室内試験等による基礎データも考慮して、従来の管理基準値の改訂を行なった。新しい管理基準値の提案にあたって可能な限り実走行データを採取したが、鉄道事業者により車両更新の考

え方や走行条件が大きく異なる中で、共通の指標として使用するためにはある程度の余裕を含んだものにならざるを得ない。したがって、今後とも継続的に実物の状態との整合を確認し、その妥当性について検証していく必要がある。更に今後、鉄道車両の技術の向上や走行条件の変化、グリース技術の向上に従い、必要に応じて改訂を行なっていく。

文 献

- 1) 鈴木政治：液体トライボロジー材料，RRR, vol.57, No.3, pp.8-9, 2000
- 2) 鈴木八十吉：使用グリースの劣化判定，鉄道技術研究資料，37-2, pp.89-94, 1980.2
- 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) 志摩政幸，地引達弘：フレッチング摩耗，トライボロジスト，vol.53, No.7, pp.462-468, 2008
- 5) 鈴木八十吉：原子吸光法による使用リチウムグリース中の石けん分および摩耗金属分の定量，潤滑，vol.14, No.9, pp.479, 484, 1969
- 6) 小松崎茂樹：グリースの劣化とその防止対策，機械の研究，vol.28, No.8, pp.951-957, 1976
- 7) 日本潤滑学会編：改訂版潤滑ハンドブック，養賢堂，p.356, 1987