

主電動機軸受のグリース入替給脂機構

日比野 澄子* 中村 和夫* 細谷 哲也*

New Grease Replacement System for Midterm Lubrication for Traction Motor Bearings

Sumiko HIBINO Kazuo NAKAMURA Tetsuya HOSOYA

The “interim grease supply” method has been adopted for some types of the induction traction motors, as one of the general solutions for elongation of the lifetime of the grease. However, the conventional way of planning the interim grease supply requires to leave some empty portion to refill additional grease due to the limit of the space. Accordingly, insufficient lubrication is sometimes caused in the initial stage of the motor operations. To solve such problem, a new device has been designed which enables to fill the grease without providing an empty portion in the grease pocket by replacing the deteriorated grease with the less deteriorated one inside the grease pocket.

キーワード：中間給脂，主電動機，転がり軸受，グリース，周期延伸

1. はじめに

鉄道車両において、台車周りのメンテナンスは特に重要である。各機器が正常に動作するために潤滑剤が使われているが、台車部品の使用期間に対し、潤滑剤の寿命は短いため、定期的に洗浄・交換を繰り返す。その中でも、主電動機のグリース交換では回転子を引き抜く作業が発生することから、その省力化の要求が強い。軸受のグリース潤滑寿命を延伸する一方策として、中間給脂と呼ばれる、非分解でグリースを追加する方法があり、一部の主電動機において行われている。しかし、具体的な給脂量と効果の関係が明確ではないことから、現状では、緊急時に備えグリースニップルを装備した上で、実際には中間給脂を行っていない例も多い。そこで、本研究では、従来の給脂方法における問題点を整理し、中間給脂時に劣化グリースを移動する入替給脂機構を開発した。また、中間給脂を効果的に行うためには、給脂する時期も重要な要素であると思われるため、どのようなタイミングで給脂するのが最も効果が高いかを検討し、「給脂機構」と「給脂時期」を組み合わせた新しい給脂方法の提案を行う。

2. 従来の中間給脂の考え方と問題点

中間給脂¹⁾とは、グリースニップルあるいは給脂ニップルと呼ばれる給脂口をあらかじめ機械の外側に設けておき、適切な時期に潤滑部分に直接新しいグリースを追加することにより、非分解で内部の潤滑状態を改善し、

潤滑寿命を延伸する方法である。中間給脂により潤滑面の古いグリースが押し出されて、新しいグリースで置き換えられれば、軸受部を分解して洗浄した場合には劣るものの、潤滑寿命を延伸させる効果が期待できる。

仮に周囲のスペースに余裕がある軸受に給脂する場合は、軸の回転により、余分なグリースが周囲に押し出されるため、過封入の心配がない。それに対して、主電動機の軸受の場合には、内部のスペースが限られており、余分なグリースが逃げることはできないため、軸受に対して正確な量を給脂する必要がある。そこで、給脂する予定量に対し、それが収まるスペース（図1）をあらかじめ空けておき、過封入にならないような配慮を行っている。

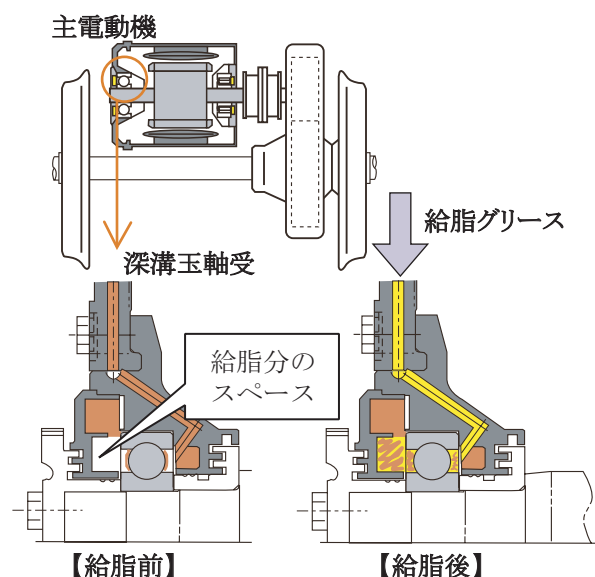


図1 駆動装置と従来の中間給脂

* 材料技術研究部 潤滑材料研究室

特集：材料技術

しかし、内部の給脂状態について非分解で確認することができないことから、給脂量にばらつきが生じる可能性がある。また、軸受周囲のスペースを初期封入分と給脂分で分配しなければならないため、給脂量を増やすには、初期に封入するグリース量を減らさなければならず、中間給脂前の潤滑状態がかえって悪くなる可能性がある²⁾。

上記を踏まえて、主電動機軸受で中間給脂をより効果的に行うためには、給脂分のスペースとして初期封入量を減らす必要のない、また、内部を確認できなくても一定量が給脂できる方法を開発する必要がある。

3. 新しい給脂機構の概要

3.1 入替給脂機構のしくみ

前述のように、中間給脂前（初期状態）において、軸受近傍にグリースが十分に封入されていないと初期に潤滑不良をおこす懸念がある。また、給脂グリースも軸受近傍かあるいは直接軸受に入らないと効果が薄い。従って、軸受に最も近く、潤滑に重要な位置にある端ふたの環状グリースポケット（以下、環状GP）内のスペースをどのように使うかが重要になる。そこで、新しい給脂機構では、使用開始時にグリースポケット（以下、GP）内全体にグリースを封入（フルパック）し、中間給脂時に、軸受近傍で劣化したグリースを軸受から遠ざけ、代わりに未劣化グリースを軸受近傍に供給する方法（以下、入替給脂機構）とした。開発した機構を図2に示す。

GP内でグリースを入れ替える構造を実現するため、新たな部品として、環状GPを深さ方向に2分割する板（以下、可動板、図2の青色の部分）をGP内に設置した。分解検査時から可動板の背面（GPの深い半分）にあらかじめグリースを封入しておき、中間給脂時には、可動板を軸受から遠ざける方向（図2の右方向）に動かすことにより、背面のグリースに圧力をかけ、軸受側へ押し出す構造とした。これにより常に一定量のグリースを給脂することができるため、安定した給脂効果を得ることが可能となる。図3に、端ふたGPの内、軸受に接した表面が劣化した状態（左）と入替給脂後の状態（右）を示す。給脂出口を軸受の内輪に沿った円周状としたことにより、軸受の端面に対して同時にグリースを押し出すことができ、従来給脂時に行われていた主電動機の低速回転をすることなく、軸受内輪近傍に均等に給脂を行うことができる。以上により、従来の給脂方法の欠点であった給脂量のばらつき及び給脂前の潤滑状態を改善し、給脂量を正確にコントロールすることにより、非分解で安定した給脂効果を得ることができる。

3.2 駆動方法の選択と給脂作業の検討

入替給脂機構では、可動板の移動が確実にされる必

要がある。可動板の駆動方法として、①可動板に雌ねじのタップ穴を立て、2本のボルトの回転により駆動する方法と、②ピストンを使って流体圧力で駆動する方法を検討した。

ボルトによる駆動方法の優位な点は、ボルトの回転により確実に可動板を移動可能で、ボルトピッチと回転量から可動板の移動量が外部から非分解で把握でき、かつ、中間の任意の位置で止めることにより給脂回数を複数回に分けることが可能となることである。一方、端ふたの外でボルトをスパナで回転するための作業スペースの確保が必要であるため、主電動機を単体でメンテナンスする場合に適している。また、構造上、GP内からボルト穴を通じて端ふたの外部へグリース漏れが懸念されるため、実用的には、ネジ用の封止シール等の採用を検討する必要がある。

一方、図2に示すように、グリースニップルを利用し、流体圧力によりピストンで可動板を駆動する方法は、中間給脂時の作業性において優れ、主電動機を台車に装架した状態での作業が可能である。また、端ふた底部にボルト穴を開ける必要がなく、シールの問題が同時に解決される。ピストンを駆動する駆動用流体としては、油、グリースなどが考えられる。構造上、駆動流体が潤滑グリースと混ざることはないが、万一の漏れを考え、潤滑用と同種のグリースを駆動用にも使用した。グリースニップルから注入された駆動用グリースは、二手に分岐

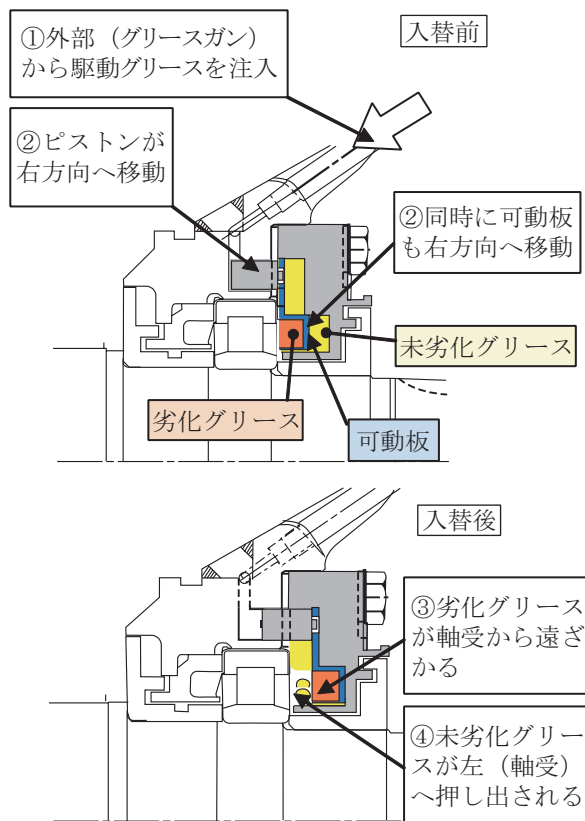


図2 入替給脂機構のしくみ（ピストン駆動）

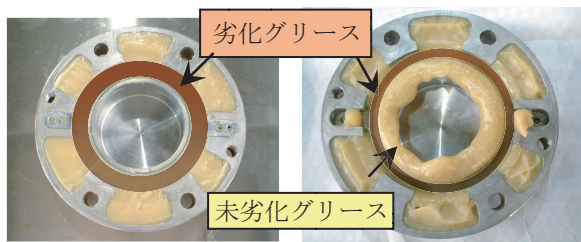


図3 端ふた給脂前状態（左）と給脂後状態（右）

し、等距離に位置する2つのピストンに到達し、ピストンを介して、可動板を駆動する。実際のメンテナンス作業としては、グリースニップルにグリースガンを接続し、ハンドルを操作して、駆動用グリースを注入する。動作終了の目安は、グリースガンのハンドル操作が明らかに重くなることで確認できる。また、グリースガンと主電動機の間には圧力計を入れることにより、作動用圧力の増大を数値として確認することもできる。

3.3 実用化の検討

入替給脂機構では、従来と比較して新たな部品となる可動板が追加される。主電動機の分解検査時においては、可動板の洗浄、再封入作業が発生するため、出来るだけ簡単な形状を目指して軽量化、洗浄性の観点から改良を行い、いくつかの試作の後に、図4に示す提案構造を見出した。

さらに、軸受の機外側、機内側の両方に入替給脂機構を配置することもできる。この場合にも、機構が所定の動作をすることをモデルで確認した。構造面、動作面の確認から実用化は可能と考えられ、潤滑上も有利と考えられるが、組立性、作業性の観点から、今回は、片側のみ入替給脂機構を設ける方法を提案する。

また、可動板背面に封入されている給脂グリースが中間給脂時期までに硬化する場合を想定して、在来線60万km走行後の端ふた環状GP内グリースの不混和ちよう度を測定し、同等の硬さを持つ新グリースを給脂グリース

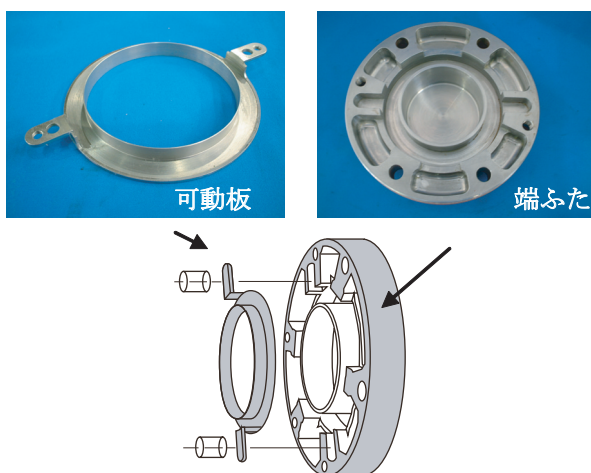


図4 提案の可動板（左）と端ふた（右）

として用いて試験をしたところ、作動圧力はやや大きくなったものの、問題なく動作することを確認している。

3.4 入替給脂によるグリースの動き

入替給脂機構では、軸受の外部（端ふたGP内）でグリースを入れ替えているため、入替量の設定によっては、軸受内のグリースを押し出す力が弱く、軸受の潤滑状態を改善できない可能性がある。そこで、軸受内部のグリースがどの程度入れ替わるか、トレーサを用いた方法³⁾で従来の中間給脂と比較したところ、どちらの条件でも給脂グリースが軸受内を通り、反対側へ移動しており、また、両者を比較すると、提案する入替給脂機構を使用した場合には、従来の条件を再現した場合よりも、グリースの移動が大きくなっていることが確認された⁴⁾。

4. 給脂時期の検討

4.1 新グリース混合による給脂時期と寿命延伸効果の試験

中間給脂により、潤滑状態が改善し寿命が延びることは予想されるが、より効果の高い給脂方法についての知見は少ない。筆者らは、「どのタイミングで」「どの程度の量を給脂すれば有効か」について基礎的な知見を得ることを目的として、現車の誘導電動機で使用したグリースに対して新グリースを混合させたグリースの寿命試験を実施している。

実際に新幹線電車で約40万kmおよび約80万km走行した十数台の誘導電動機軸受から採取した使用グリース、および、それに新グリースを25%、50%加えよく混合したグリース、新グリースの寿命を比較した。

試験には、ASTM型グリース寿命試験装置（旧ASTM D1741）を用いた。これは、深溝玉軸受に試験グリースを封入し、外輪温度を125℃にコントロールし、20時間運転4時間休止のサイクル運転で、潤滑寿命に至るまで

表1 小型軸受による促進劣化寿命試験条件

項目	試験条件
試験軸受	6306 深溝玉軸受
グリース量	2.0g
試験温度	125℃（軸受外輪付近温度）
回転速度	3500min ⁻¹
負荷荷重	ラジアル：111.1N（11.34 kgf） アキシャル：177.8N（18.14 kgf）
運転条件	20h 運転、4h 休止のサイクル運転
寿命判定	・ 休止から運転移行時のトルク 過大による起動不可能 ・ 運転中のトルク過大による過電流 ・ 運転中の10℃以上の温度上昇 以上のいずれかに該当した場合に寿命とする

特集：材料技術

回転させる試験で、同ASTM規格が廃止された後も、グリースの寿命評価に広く使われている方法である。休止時間は回転、加熱ともに行わない。試験には、現車で使用されている銘柄のグリースを用いた。グリース封入量は、軸受内に約6gと規定されているが、試験回数を増やすために封入グリース量を2gに減らした劣化促進試験を行った。試験条件を表1に、結果を図5に示す。

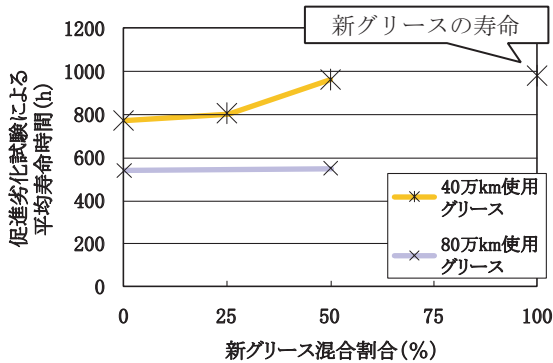


図5 新グリース混合の寿命延伸効果 (3回の平均寿命)

40万km使用グリースに新グリースを混合した場合には、混合による寿命の回復が認められた。しかし、80万km使用グリースに新グリースを混合しても寿命延伸効果はほとんど見られなかった。このことから、グリースの劣化があるレベル以上まで進行すると、新グリースを混合しても寿命時間を延伸する効果はほとんど期待できなと考えられる。従って、中間給脂を行なう場合には、グリースがあまり劣化しない段階で実施すべきである。

4.2 新グリース追加による給脂時期の試験

次に、効果の高い給脂時期を確認するため、実際の給脂を模擬するよう、小型の軸受を用い使用期間の途中で新グリースを追加する試験を行った。

4.2.1 試験方法

主電動機の軸受では、グリースを封入できるスペースが限られていることから、試験においても全封入量を一定とし、初期にすべて封入する場合と、グリースを初期封入分と中間給脂分に分ける場合の比較をした。実際の在来線主電動機の玉軸受において、中間給脂後の全グリース量に対し、中間給脂分が20%程度であることを考慮し、本試験においても、初期封入量80%と給脂量20%とに配分した。中間給脂時には、2gに対して20%にあたる0.4gをさらに8等分し、軸受内輪軌道中央の各転動体の間の8箇所給脂した。そして、初期に2gの全量を封入した場合の寿命(以下、基準の寿命)に対して、グリース追加の時期を12.5%、25%、50%、75%として寿命延伸効果を比較した。

使用した2台の試験装置(A)(B)に対し、試験装置間の固体差を考慮して、各装置ごとに寿命の平均を求め

表2 基準の寿命に対しての給脂時間 (試験装置別, h)

試験装置	基準の寿命	寿命の12.5%	寿命の25%	寿命の50%	寿命の75%
(A)	422	使用なし	106	212	使用なし
(B)	563	70	141	281	422

(表2)、それに対して給脂時期も装置ごとに決定した。

4.2.2 結果

2台の装置の平均値で整理した結果を図6に示す。給脂時期で比較すると、寿命の25%時点で給脂した場合には、最も寿命の延伸効果が高い。12.5%時点で給脂した場合には、基準の寿命からの延伸効果はほとんど見られなかった。また、75%時点で給脂を計画した場合には、給脂を行う前に寿命を迎えた。これは、初期封入量である1.6gの寿命が、給脂予定時期よりも短かった結果と考えられる。

この結果から、車両の検査周期を考慮すると、例えば、180万km非解体を目標にする場合には、最初の重要部検査(4年または60万km以内)の時期に給脂を行えば効果が高いと考えられる。

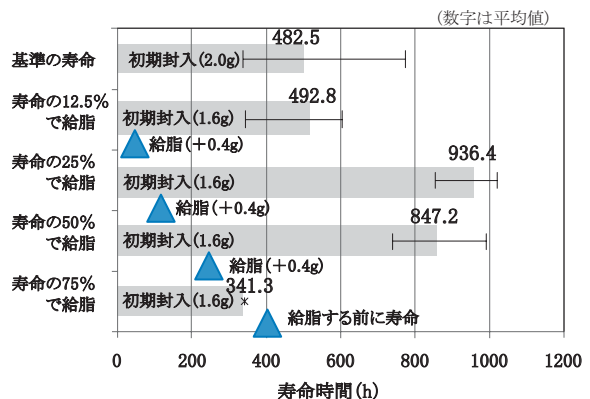


図6 給脂時期の違いによる寿命時間の延伸

5. 実物大軸受の潤滑寿命確認試験

入替給脂機構を使用した場合の潤滑寿命を確認するため、実物大軸受を用いた180万km走行相当の長期確認試験を行った。

5.1 使用モデルと試験グリース

試験では、実用の主電動機をベースとして端ふたの外形を変更せずに構成できる範囲で設計した入替給脂機構を使用した。また可動板の駆動方法は、端ふたの改造のみで行えるボルト駆動とした。グリースは現車使用銘柄とした。グリースの封入方法としては、端ふた、内ふたはGP全体にグリースを封入(フルパック)した。軸受へのグリース封入量は、軸受内スペースの容積の30%に統一した。

5.2 試験条件

主電動機の軸受部を再現した実物大モデルについて、誘導電動機用軸受回転試験装置を用いて軸受回転試験による180万kmまでの寿命確認試験を行なった。軸受は現車の主電動機と同じ型番とし、深溝玉軸受6311C4P6、円筒ころ軸受NU214C4P6を使用した。内ふたGPは一般的な形状（環状GPのみ）を使用した。

試験条件は、在来線車両（計算車輪径820mm，ギア比6.53を使用）の走行条件に合わせて設定し，実車走行時の軸受回転状態を模擬できるようにした。軸受回転数は，実際の運用時の最高速度130km/hに対し，1割増の143km/hに対応する6044min⁻¹とした。温度条件としては，速度130km/hの在来線車両走行試験結果と年間平均気温から温度上昇値を推定し，ギヤ側ころ軸受温度を98℃，反ギヤ側玉軸受温度を88℃とし，これが最高温度となるように試験を行った。試験は，走行条件を勘案して，20時間回転，4時間休止を1サイクルとし，正回転のみの繰り返し運転とした。試験時間の都合により，後半は22時間回転，2時間休止とした。荷重は，ラジアル静荷重としてロータ重量に継手重量の1/2を加えたものが2つの軸受の midpoint にかかるものとした。

入替給脂は，4章で述べた検討により，日車キロの長い車両の場合の重要部検査を想定して，60万km時点でを行った。

5.3 寿命確認結果

試験を継続していく過程での寿命の判定基準は，表1に示すASTM試験装置の規定によった。これによると，180万kmまでに寿命の兆候は現れなかった。

5.4 ころ軸受グリースの酸化劣化の経時変化

グリースの経時劣化状態を確認するために，30万km走行相当回転数ごとに試験を中断し，ころ軸受の保持器の柱上のグリースを採取した。60万kmでの採取直後に入替給脂を行った。給脂直後のグリース採取は行っていない。同一の試験軸受を継続して回すため，寿命への影響を最小限に抑えるために，グリース採取は，保持器柱16本のうち各回異なる1本ずつから行った。採取によりグリースが減量するが，グリースの追加は行っていない。

採取したグリースの酸化劣化の推移を図7，表3に示す。指標は，酸価（オレイン酸）である。実車両採取グリースのころ軸受保持器上の酸価（後述・表6）は，約50万km走行後に2.2～2.4%であったのに対し，本試験では60万km相当で2.8%であり，本試験の方がやや厳しい条件であったと考えられるものの，寿命の確認という観点からは妥当であったといえる。

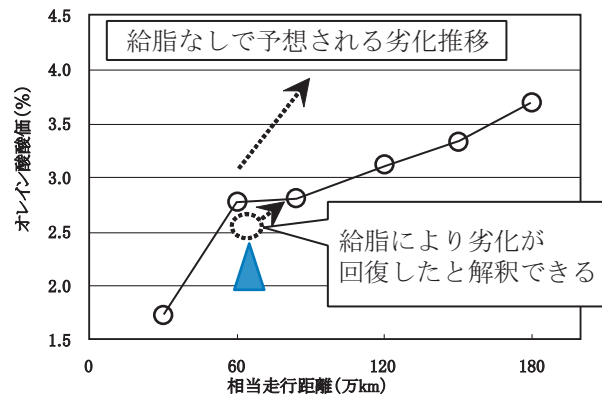


図7 ころ軸受保持器上グリースの酸化劣化の推移
* 60万kmの試料を採取した後に，入替給脂を行った。
実線：測定データ（点線は外挿したもの）

表3 ころ軸受グリースの酸化劣化の推移（%）

相当走行距離 (万km)	30	60	84.2	120	150	180
酸価 (%)	1.74	2.78	2.81	3.12	3.35	3.70

5.5 考察

図7において，給脂直後の試料は採取しなかったが，その後の劣化の推移から，給脂直後には，点線で示す位置まで酸価が下がったと推測でき，この低下分，すなわち劣化の抑制が，最終的な潤滑寿命の延伸効果を生むと考えられる。

また，試験開始から入替給脂（60万km）までの推移に対し，給脂後には傾きが緩やかに，すなわち劣化速度が遅くなった。これは，給脂前までは環状GPの半分しか使用していないため劣化が早く進むが，給脂後は，環状GPの容量が増え，かつ外側GPとの接面積が増えたため劣化が遅くなったと思われる。表4および表5に，実物大の潤滑寿命確認試験と最終提案構造の可動板内グリース量，総封入量，入替給脂量と接面積の比較を示す。提案構造では，継手部との干渉がない範囲で外形を拡大しているため，給脂量，接面積ともに，大きくなっている。提案構造の可動板内グリース量（環状GPの給脂前封入量）は，5.1～5.3節で述べた寿命確認試験と比較して大きくなっていること，総封入量および入替給脂量を増量していること，また，提案構造の外側GPと環状GPの給脂前の接面積は，寿命確認試験の給脂後の接面積よりもさらに大きくなっている（網掛け部）ことから，提案構造を使用した場合には，使用開始から給脂前までの劣化速度が抑えられ，図7の給脂後の劣化速度よりも遅くなることが期待できる。

特集：材料技術

5.6 グリースの混合と酸化劣化

給脂グリースが軸受内で劣化グリースと混合された場合の寿命について見積ることは難しいが、(社)日本トライボロジー学会グリース研究会⁵⁾によると、劣化グリースに新グリースを混合することにより、グリース寿命は延びるが、混合割合から期待される平均の寿命よりは短くなることが示されている。入替給脂機構で使用する給脂グリースは、初期より封入されており新グリースより劣化していると考えられる。そこで、実際の給脂時を想定して、現車採取、寿命確認試験の2条件におけるグリースの酸価(オレイン酸)を調査し、表6に整理した。

現車の約50万km時点での給脂を想定すると、ころ軸受側では、ころ保持器上グリース(酸価2.2~2.4%)にGP内グリース(同1.1~1.2%)を追加する状態となる。また、玉軸受側では、玉保持器上グリース(同1.1~1.2%)にGP内グリース(同0.7~1.1%)を追加する状態

となる。どちらの軸受でも、劣化が進んでいる軸受内使用グリースに劣化の少ないGP内グリースを給脂する形となり、軸受内のグリースの酸価が下がり、給脂による寿命延伸効果が期待できる。また、混合したグリースの酸価が劣化の大きい方のグリースに近い値になるとしても、管理基準値5%に照らして小さい値になる。

次に、実物大軸受の潤滑寿命確認試験の結果について考える。図7によると、給脂時期と決めた60万km時点でのころ軸受保持器上の酸価は2.8%であった。その時点での給脂グリースを採取することができなかったため、環状GPの表面のグリースを参考として採取した結果、酸価は2.5%であった。これは、在来線車両の主電動機軸受よりも劣化が進んでいる状態であり、この条件で、180万kmまでの潤滑寿命が確認されていることから、在来線車両においても同様の寿命が期待できると考えられる。

表4 寿命確認試験構造と提案構造の封入量比較 (g)

状態	端ふた環状GP封入量	軸受周囲総封入量		入替給脂量
		給脂前	給脂後	
ころ軸受	寿命試験構造	16.3	40.1	19.2
	提案構造	40.0	90.2	38.2
玉軸受	寿命試験構造	17.8	42.8	20.6
	提案構造	35.5	79.8	37.3

表5 寿命確認試験構造と提案構造の接面積比較 (mm²)

状態	ころ軸受		玉軸受	
	給脂前	給脂後	給脂前	給脂後
寿命試験構造	439.8	1361.5	450.0	1312.7
提案構造	2030.0	2233.0	1762.0	1938.2

表6 給脂時点における軸受内使用グリースと給脂グリースの酸価 (オレイン酸)

試験条件	軸受保持器上使用グリース		給脂グリース		
	採取位置	酸価 (%)	採取位置	酸価 (%)	
在来線・主電動機 (約50万km走行)	ころ軸受	2.2~2.4	環状GP内(ころ)	1.1~1.2	
	玉軸受	1.1~1.2	環状GP内(玉)	0.7~1.1	
寿命確認試験・給脂時 (60万km相当)	ころ軸受	2.8	環状GP内(ころ)	データなし	
			参考値	GP表面	2.5
				離油	2.5

6. 結論

中間給脂時に、劣化グリースを軸受から遠ざけて、未劣化グリースを軸受近傍に供給する入替給脂方法を開発した。この方法では、従来のように初期封入量を減らす必要がなく、確実に一定量の給脂を行うことができる。また、最も効果の高い給脂時期として、潤滑寿命の25%の時期を提案した。新しい機構と適切な給脂時期を組み合わせた結果、ベンチ試験により、非分解で在来線での180万km走行に相当する潤滑寿命を確認した。

謝辞

入替給脂機構の開発は、(株)東芝との共同研究開発契約により実施した。試験グリースを提供いただいた協同油脂(株)に深く感謝の意を表す。

文献

- 1) (社)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.851, 2001
- 2) 日比野澄子，松岡孝一，永山孝：主電動機軸受の潤滑寿命延伸の取り組み，JREA，Vol.51，No.11，pp.11-14, 2008
- 3) 日比野澄子，細谷哲也，曾根康友，中村和夫，鈴木政治：誘導電動機のころがり軸受におけるグリースの潤滑挙動，鉄道総研報告，Vol.15，No.7，pp.29-34, 2001
- 4) 日比野澄子，永山孝，松岡孝一，喜多村稔：主電動機軸受の寿命延伸を目指す中間給脂機構，R & m，Vol.19，No.5，pp.8-11, 2011
- 5) (社)日本トライボロジー学会グリース研究会：劣化グリースと新品グリースとの混合によるグリース寿命に関する共同研究報告，トライボロジスト，Vol.47，No.3，pp.184-189, 2002