

主電動機グリースポケットの改良と寿命延伸効果

日比野 澄子* 細谷 哲也* 中村 和夫*

Extension of Grease Service Life for Improved Grease Pocket

Sumiko HIBINO Tetsuya HOSOYA Kazuo NAKAMURA

The interval for motor disassembling maintenance is now determined by the durability of sealed grease whose lifetime is the shortest among all bearing parts and materials, which should be extended further. For this purpose, therefore, the authors discussed the shape of "grease pocket" and have shown that the efficiency of grease lubrication depends on the shape of grease pocket and the relative position between pockets and the bearing, which should be appropriately modified. In this report, the authors performed laboratory tests with full-scale grease pocket models of refined and conventional shapes to compare the service lives and determine the improved effect.

キーワード：グリース，グリースポケット，転がり軸受，トレーサ，トライボロジー，主電動機

1. はじめに

鉄道車両の主電動機は、解体検査に非常に手間がかかるため、従来より省メンテナンス化の要求が強い。近年は主に誘導電動機が使われるようになり、従来の直流電動機におけるブラシや整流子のメンテナンスが不要になったことにより、メンテナンス周期は、軸受部の耐久性に依存するようになった。そこで、軸受部の中でも最も寿命の短い潤滑グリースの耐久性向上が課題となっている。主電動機の軸受の潤滑にあたっては、軸受の両側の蓋にグリースポケットと呼ばれるくぼみが設けられており、軸受内部に加えて、このグリースポケットにもグリースを封入することにより、潤滑効果の延長が図られている。一方で、グリースポケット中のグリースがどの程度有効に使われているかは明らかにされていなかったが、著者らは現行の代表的なグリースポケットを使用した場合のグリース基油挙動の比較結果¹⁾から、グリースポケットの構造を改良することにより、軸受部の潤滑寿命を延伸できる可能性を示した。更に、グリースポケットの封入グリースの基油を効果的に軸受に供給させることを目的として、グリースポケット形状を決める際にグリース挙動に影響を及ぼす因子とその効果を検討し、グリースポケットの設計における指針を明らかにした²⁾。

本報告では、まず、実際的主電動機構造にあわせたグリースポケットの改良例とその基油供給能の比較結果³⁾を紹介する。次に、改良構造を使用した寿命延伸効果について実物大の軸受試験を行なったのでその結果について報告する。

2. 主電動機軸受部の構造

図1に駆動装置の一例を示す。主電動機内部には、ロータの支持軸受として、ピニオン側に円筒ころ軸受（以下、ころ軸受）、反ピニオン側に深溝玉軸受（以下、玉軸受）が使用され、その潤滑のためにグリースが封入されている。軸受部の構造を図2に示す。ころ軸受、玉軸受ともに、機外側に端ふた（以下、外ふた）、機内側にベアリングブラケット、またはハウジング（以下、内ふた）を持ち、それぞれにグリースポケット（以下、GP）がある。

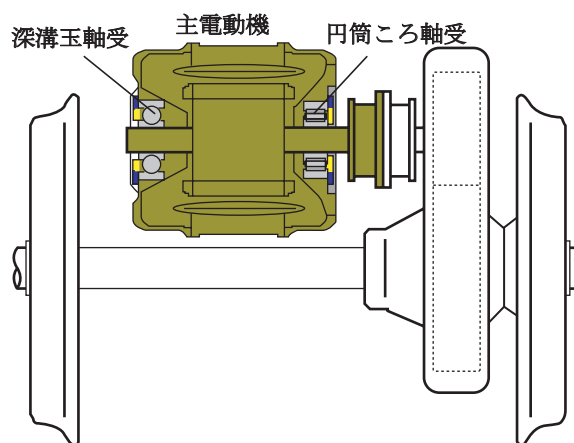


図1 駆動装置の構造の一例

3. 試験グリースと分析方法

試験には、現車の主電動機用に広く使用されているリチウムコンプレックスグリースを使用した。

* 材料技術研究部（潤滑材料）

特集：材料技術

3.1 グリースの挙動の確認

グリース基油の挙動は、前報²⁾³⁾までと同様、トレーサ入りグリースを用いて調査した。基油のトレーサとして油溶性の染料を選択し、上記グリースに混入したものを試験グリースとした。各試験後、軸受とGP各部から採取したグリースに対して、紫外可視分光光度計で染料の固有ピークを測定することにより、含まれるトレーサを定量した。

3.2 グリースの劣化分析

寿命比較試験では、経時的なグリースの劣化を知るために、一定距離走行相当ごとに、ころ軸受軸箱を分解し、軸受内グリースの採取と酸価の分析を行なった。

酸価は、グリースの酸化劣化の尺度であり、値が大きいほど酸化劣化が進んでいることを示す。試料の赤外吸収スペクトルを測定し、酸化劣化生成物に起因する吸収の強度を求める。次に、酸化劣化生成物のモデル物質であるオレイン酸濃度に対して吸収強度の検量線を作成し、酸化劣化生成物の濃度をオレイン酸の濃度に換算して算出している。

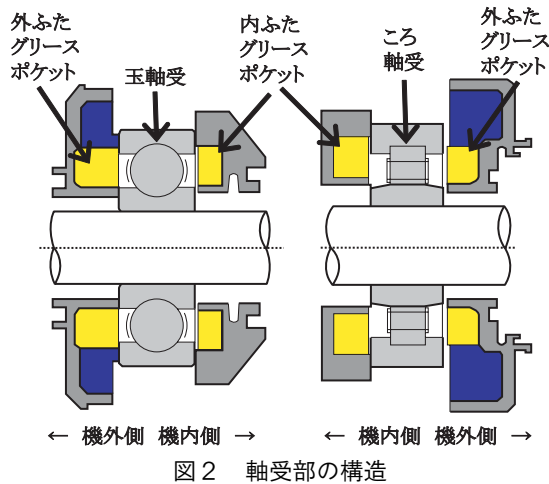


図2 軸受部の構造

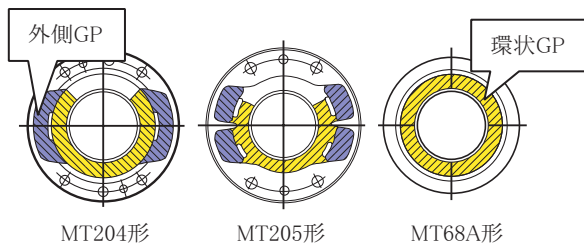


図3 現在使われている主電動機軸受のGPの代表的な形状（斜線は現車でのグリース封入部）

4. 実機モデルとグリース挙動の比較³⁾

外ふたのGPは主電動機形式により形状が異なる。代表的なGP形状を図3に示す。斜線はグリース封入部である。環状の溝に加え外側GPを左右1つずつ持つもの

(例：MT204形)、外側GPを左右2つずつ持つもの(例：MT205形)、環状の溝のみのもの(例：MT68A形)がある。それに対して、内ふたのGPは全て環状の溝である。

これまでの検討²⁾では、①環状GPを深さ方向に拡大すること、②グリース基油の通路となる外側GPと環状GPの接合部分(以下、接面積)を拡大することによって、従来の構造よりもグリースの基油の循環のよいGP構造を得られることを確認した。そこで、まず、現行の主電動機軸受部のGPに対して、グリース量を変えずに、環状GPと外側GPの接面積を広く取った構造を試作し、基油挙動の変化を調べた。次に、実構造上の制約を加味した、より実用的なGP構造を試作し、その挙動について検討した³⁾。

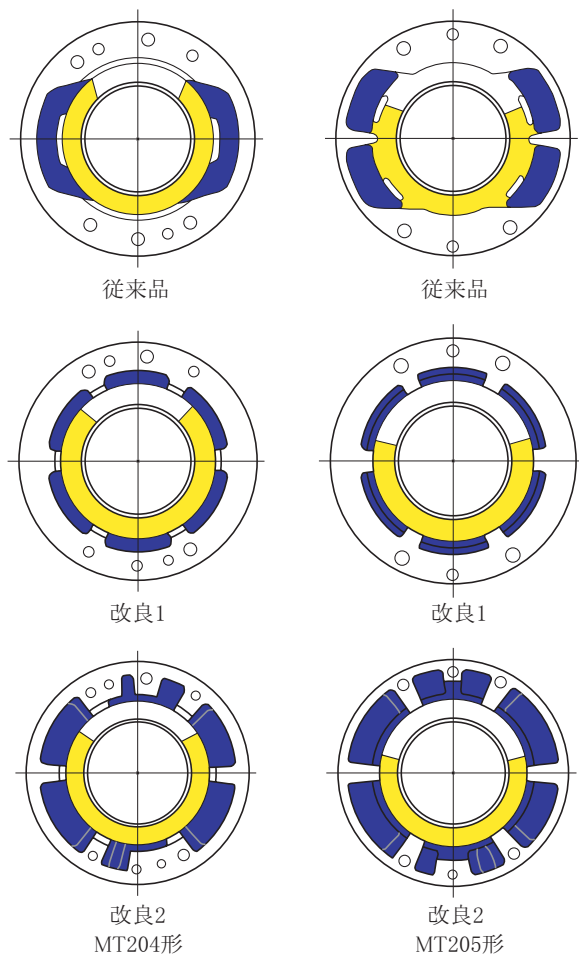


図4 従来品と改良品のGP形状の比較（玉軸受側の例・青色部分は外側GP、黄色部分は環状GP）

4.1 試験条件

4.1.1 接面積を広げた場合のグリース挙動の変化

現行の電動機(MT204形、MT205形)それぞれの外ふたのGP(以下、従来品、図4上段)を基本とし、外側GPの容積を変えずに、外側GPと環状GPの接面積が出来る限り広くなるように実物大GPを設計(以下、改良1)、試作した(図4中段)。外ふた、軸受、内ふたを組み

合わせて、外ふた外側 GP にトレーサ入りグリース、他の部位にはトレーサを含まないグリースを封入し、実用条件で400時間の軸受回転試験を行なった。試験条件は、前報³⁾に倣い、MT205形 (E2・E3系) の走行条件に合わせて、表1のように設定し、実車走行時の軸受回転状態が模擬できるようにした。試験は、10時間運転、2時間休止を1サイクルとし、正回転のみのくりかえし運転とした。試験軸受の回転数は、E2・E3系の最高運転速度 (時速275km) から計算し、試験軸受温度は、E1系の現車試験の結果より少し高めに設定したものを使用した (E2・E3系についてはデータがないため)。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。

4.1.2 実用構造としてグリースを増量した場合のグリース挙動の変化

4.1.1 の設計方法を基本に、実構造上の制約 (ボルト、通気口などの位置) を加味して、更に、外側 GP を構造上許される範囲で幅方向にくり抜きグリースの増量を図った GP 構造を設計 (以下、改良2)、試作した (図4下段)。4.1.1 と同様に、軸受回転試験を行なった。

また、グリースは、各 GP 構造共通で現車での封入状態とした。環状 GP 上部には、図4のように中間給脂を意図した空間が設けられている。ただし、この試験では中間給脂は行っていない。

表1 軸受回転試験の試験条件

外輪設定最高温度 (°C)		回転数 (min ⁻¹)	ラジアル荷重 (N)	アキシアル荷重 (N)	運転サイクル (h)
玉軸受	ころ軸受				
90	95	5,700	800	0	10h 運転 2h 休止

4.2 結果と考察

外ふたの外側 GP に封入したグリースの基油の、外ふた環状 GP、軸受および内ふた GP への到達度合いを表2に示す。従来品、改良1、改良2について比較すると、MT205形の玉軸受側のように、従来品<改良1<改良2の順に基油の移動量が増大しているものがある一方で、MT204形の玉軸受側やMT205形のころ軸受側のように、改良2では、従来品と比べて基油の移動量が同等または増大しているものの、改良1よりは基油の移動が少ないというものもあった。これは、改良2において外側 GP に封入するグリースは増量している一方で、外ふたの構造上の制約から GP の位置が制限され、環状 GP と外側 GP の接面積が広くとれなかったことが原因と考えられる。

次に、環状 GP のトレーサ含有割合と、外側 GP と環状 GP の接面積を図5に示す。まず、環状 GP のトレーサの含有割合は接面積と密接な関係にあることがわかる。また、環状 GP のトレーサ濃度において、深さ方向の勾配が見られなかったことから、外側 GP のトレーサは主に環状 GP 中のグリースを介して軸受へ移動していると考えられる。従って、表2において従来品、改良1、2の間で差が検出できない場合 (MT204形ころ軸受側) であっても、図5では環状 GP のトレーサ含有割合が従来品<改良1<改良2となっていることから、改良1、2では従来品と比較した場合に基油の移動量が増大していると考えられる。

これらの結果により、実物大のモデルにおいて外側 GP と環状 GP の接面積を広くとることは、外側 GP のグリース基油の供給能向上に大きく寄与し、更に、実構造上の制約を加味した実用的な GP 構造においても、従来品と比べて基油の供給能が向上することが確認された。

表2 外ふた外側 GP の基油の移動 (400 時間後)

	部位	玉軸受側				ころ軸受側		
		内ふた GP	玉軸受		外ふた環状 GP	内ふた GP	ころ軸受保持器上	外ふた環状 GP
			保持器上機内側	保持器上機外側				
MT 204 形	従来品	○	○	◎	●	○	○	●
	改良1	○	◎	●	●	○	○	●
	改良2	○	○	◎	●	○	○	●
MT 205 形	従来品	○	◎	●	●	○	●	●
	改良1	◎	●	●	●	●	●	●
	改良2	●	●	●	●	◎	●	●

●：はっきりと検出される ◎：わずかに検出される ○：検出されない

特集：材料技術

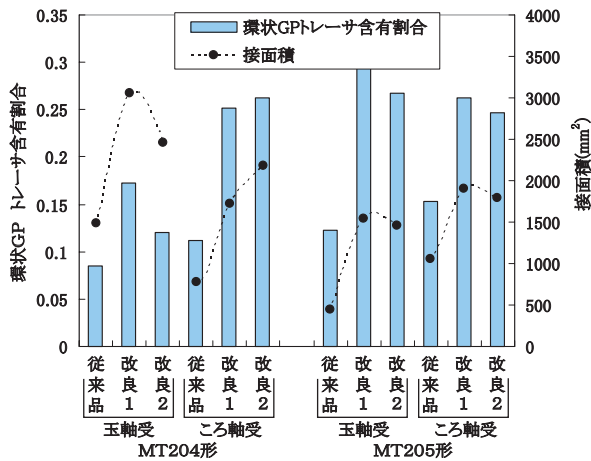


図5 環状GPのトレーサ含有割合と接面積との関係

5. 寿命比較試験

これまでの検討を踏まえて、GPの改良による寿命の延伸効果の確認のために、試作した実物大モデルを用いて、従来品と改良2（以下、改良品）の軸受回転試験を行い、その寿命の比較を行なった。

5.1 試験グリースの封入方法

グリース封入量を表3に示す。従来品のGPでは、設計図面に指示されている封入量と、中間給脂用空間として空けておく給脂予定量の合計を初期に封入した。実機の軸受のふたは鋳物で製作するため、容積のばらつきが大きいですが、この封入量ではほぼフルパックになる。改良品もフルパックとし、封入条件を統一した。

また、軸受では、玉軸受、ころ軸受ともに、グリースを封入する容積（空間容積率）を内部空間の30%に統一した。軸受の空間容積率を統一し増量したことに伴い、表3中*印については外ふた・内ふたの環状GPの封入量を減量している。

5.2 試験条件

寿命試験には、MT205形のグリースポケット形状を選択し、主電動機の軸受部のみ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寿命比較を行なった。外ふたGPは、図4右列の改良2形状と従来品形状を使用し、内ふたGPはすべて従来品形状を使用した。それぞれの軸受は現車の主電動機と同じ型番のものを用いた（深溝玉軸受6311C4P6、円筒ころ軸受NU214C4P6）。寿命比較試験にあたっては、異なるGP形状を比較するために同一の試験条件を設定する必要がある。試験条件は、表1に従った。ただし、試験軸受の回転数はE2・E3系の最高運転速度（時速275km）の1割増にあたる $5,870\text{min}^{-1}$ とし、試験時間は寿命と判断されるまで続けた。

5.3 グリース寿命の判定方法

試験を継続していく過程で、試験が継続できないような軸受の不具合が起こった場合に、寿命と判定した。ASTM型のグリース性能試験機における寿命の判定基準は、以下の4点である（旧ASTMD1741）。これは試験軸受の破損した最初の兆候が現れたという基準である。

- (1) 運転中にモーターが駆動できなくなった場合
- (2) 停止時間の後再び始動する際、モーターが始動できない場合
- (3) 運転中（外輪）温度が上昇して（試験温度 10°C 超過）、自動停止した場合
- (4) 騒音が急激に増加した場合（断続的または連続的に10分間騒音が増加した場合）

この基準を参考にして、寿命判定を行なった。ただし、本試験では、軸受内輪温度をモニターし、外輪側からヒータで暖める構造なので、(3)では内輪温度を基準とした。

表3 寿命比較試験のグリース封入量 (g)

軸受部内位置		外ふた		軸受	内ふた
グリース封入箇所		環状GP	外側GP合計	軸受内空間部	環状GP
玉軸受	従来品	35.0	36.0	20.0	38.0
	改良品		77.5		
ころ軸受	従来品	48.5	60.0	13.0	39.5*
	改良品	*	101.5		

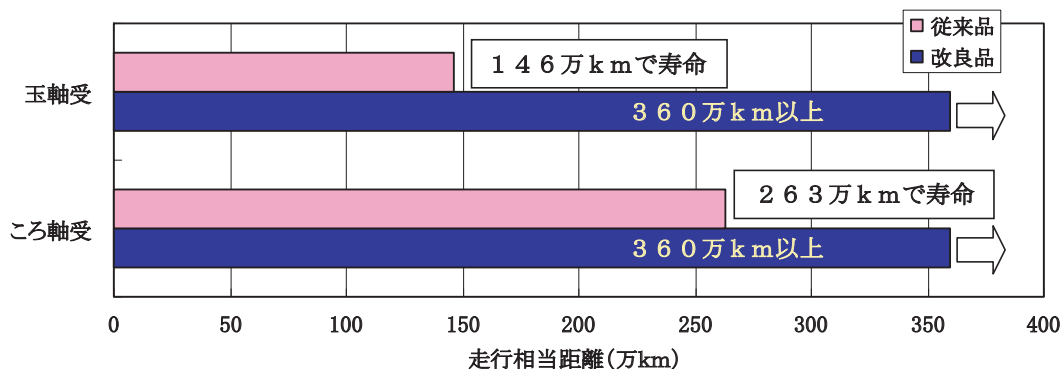


図6 寿命比較試験の結果

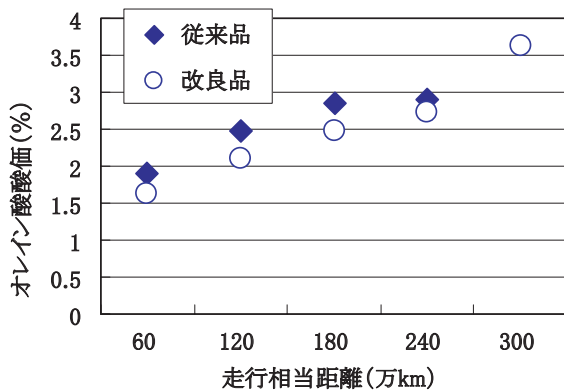


図7 ころ軸受グリースの酸化劣化の推移

5.4 結果

5.4.1 潤滑寿命の比較

従来品の玉軸受側では、146.7万km走行相当時点において、振動の増加と、急激な内輪温度上昇（安定時より25℃超過）により、試験の継続が不可能となったために、寿命と判断した。

分解した玉軸受を調査した結果、保持器ポケット部内面の摩耗が進行しており、保持器の振れ量が増大、さらには保持器が外輪および内輪と接触したことにより、内輪温度の急激な変動を招いたと考えられる。

また、従来品のころ軸受側では、263.4万km走行相当時点において、休止時間後の起動不良により停止した。分解してみると、固渋しており、軸受が回らない状態であった。分解したころ軸受を調査した結果、保持器柱部ところの接触部分の摩耗が進行したことにより、保持器の振れ量が増大しており、保持器が外輪および内輪と接触する状態であった。

それに対し、改良品ではどちらの軸受でも潤滑寿命は360万km走行相当を超えている（図6）。従って、今回の結果によると、改良GPを使用した場合には、玉軸受側で2倍程度、ころ軸受側で1.3倍程度の寿命が期待される。実際のメンテナンスでは、両軸受のうち、寿命の短い方にあわせて分解する必要があるため、主電動機全体としては、改良品の潤滑寿命は従来品の2倍程度に延伸することが期待できる。

5.4.2 グリースポケット内グリースの外観変化

60万km、120万km、180万km、240万km、300万kmにおけるGP内グリースの状態を観察した。走行距離が増すごとに、GP内グリースの色が淡黄色から濃い褐色へと変化していた。また、グリース表面が乾燥し、ひびも見られるようになる。しかし、変化は緩やかであり、外観からは寿命を示すような顕著な兆候は見られない。

5.4.3 ころ軸受グリースの酸化劣化の経時変化

軸受回転試験の経過に従い、グリースの酸化劣化が進んでいく。そのグリースの経時劣化状態を知るために、

60万km走行相当回転数毎に試験を中断し、ころ軸受の保持器柱上のグリースを採取した。試験軸受は1個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本の内各回1本ずつにとどめた。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60万km走行相当毎の酸化劣化（オレイン酸酸価）の推移を図7に示す。酸化劣化が徐々に進行していることがわかる。なお、主電動機軸受グリースの酸価の管理基準値は5%以下である。

従来品と改良品で比較すると、いずれの段階でも改良品の方が劣化の程度が小さく、180万km走行時点で改良品の劣化程度は、従来品における120万km程度であった。

採取箇所（軸受内）において、従来品と改良品とで同じ封入条件で試験を開始しているため、今回の酸化劣化の差は、外ふたおよび内ふたGPからの、軸受へのグリース基油流入状態の差によるものと考えられる。

5.4.4 グリース封入量の比較

グリース挙動に影響があると思われる要素として、一般的に、グリース充填量が多いと寿命が長くなるといわれている。また、これまでの試験の結果より²⁾、環状GP-外側GPの接面積がグリース挙動に重要な影響を与えると考えられる。そこでまず、改良の前後で、軸受部へのグリース封入量を比較する。軸受封入量は、玉軸受に20g、ころ軸受に13gである。寿命試験の封入方法（フルパック）で従来品と改良品を比較した場合には、軸受部全体で1.3倍程度の封入量増加になっている（表4）。図面指示（原設計）は、現車で封入されているグリース量であり、環状GP上部に空間があるが、その場合は1.6倍程度の増加であった（表5）。玉軸受側ところ軸受側を比較すると、封入量の増加割合は同程度であった。

表4 従来品（フルパック）と改良品（フルパック）を比較した場合

	従来品 (フルパック)	改良品 (フルパック)	従来比
玉軸受	129g	170.5g	1.3倍
ころ軸受	161g	202.5g	1.3倍

表5 従来品（図面指示）と改良品（フルパック）を比較した場合

	従来品 図面指示(原設計)	改良品 (フルパック)	従来比
玉軸受	104g	170.5g	1.6倍
ころ軸受	131g	202.5g	1.5倍

特集：材料技術

5.4.5 環状GP—外側GPの接面積の比較

次に、従来品と改良品について、環状GP—外側GPの接面積の比較を表6に示す。接面積は、設計構造により大きく異なることがわかる。玉軸受側ところ軸受側の比較では、どちらも接面積は増大しているが、玉軸受側でより大きくなっている。封入量の増加割合は玉軸受・ころ軸受で同等であったことから考えると、このことが、今回の寿命試験での玉軸受側の潤滑寿命差に影響していると考えられる。また、逆にもしどちらも同等の増加割合であれば、グリースポケットの改造による影響は玉軸受の方が受けやすいと結論づけられるが、接面積の増加割合が、玉軸受ところ軸受で大きく異なるため、改良GPの効果について、どちらの軸受が受けやすいとはいえない。

表6 外側GPと環状GPの接面積（フルパック）

	玉軸受側	ころ軸受側
従来品	623mm ²	1058mm ²
改良品	2540mm ²	2955mm ²
(参考) 従来品 図面指示 (原設計)	450mm ²	1058mm ²
フルパック 改良品/従来品比	4.1倍	2.8倍

(注) 接面積の値は、図面から割り出した概算である。

6. まとめ

GPの構造を考える時、環状GPは軸受に近いので、潤滑に寄与し易いが、一方、外側GPはグリース基油が軸受へ移動するためには、環状GPを介さなければならず、環状GPよりも利用されにくい位置にあるといえる。従って、GPの設計でグリースを増量する際には、環状GPを深くすることを第一に考え、次に外側GPの設置を考えるのが望ましい。また、今回の検討の結果、外側GPに封入したグリース基油の移動は、環状GPとの接面積の増大と、外側GPのグリースの増量とによって、改善を図ることができるが、実際の外側GPの設計においては接面積を広くとることを優先し、その上でグリース量を増した方がよいことがわかった。

MT205形の従来GPを使用した場合と改良GPを使用した場合の潤滑寿命を、軸受回転試験により定量的に比

較したところ、以下の結果を得た。

- (1) 新幹線の実車条件での寿命比較試験を行い、改良GPを使用した場合に、改良効果があることを確認した。従来GPの玉軸受が146万km走行相当、ころ軸受が263万km走行相当で寿命に至った。それに対し、改良GPはどちらの軸受でも360万km走行相当まで潤滑寿命があることを確認した。従って、改良GPを使用した場合には、玉軸受側で2倍程度、ころ軸受側で1.3倍程度の寿命が期待されるため、今後さらに確認していきたい。実際のメンテナンスでは、両軸受のうち、寿命の短い方にあわせて分解する必要があるため、主電動機全体としては、改良品の潤滑寿命は従来品の2倍程度に延伸することが期待できる。
- (2) 同ベンチ試験において、60万km走行相当毎に、円筒ころ軸受保持器上のグリースの調査を行なったところ、グリースの酸化劣化は、いずれの段階でも、改良GP使用時の方が従来GP使用時よりも小さかった。

これらの結果から、改良GPを使用することによって、グリース寿命の延伸による主電動機軸受部の耐久性の向上が確認できたため、誘導電動機の検査周期の延伸への寄与が期待できる。

謝辞

本稿の寿命比較試験は(株)東芝との共同研究において実施しました。実施にあたり、ご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 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
- 2) 日比野澄子, 細谷哲也, 曾根康友, 中村和夫, 鈴木政治: グリース基油供給能の優れたポケット形状の検討, 鉄道総研報告, Vol.18, No.10, pp.21-24, 2004
- 3) 日比野澄子, 鈴木政治: グリース基油の移動を考慮したグリースポケット構造の提案, トライボロジスト, Vol.50, No.1, pp.39-46, 2005