

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

主電動機軸受の 効果的な中間給脂を実現する

鉄道車両の主電動機の保守においては、潤滑グリースの寿命延伸を行うことにより、定期検査時の保守作業軽減、あるいは検査そのものの周期延伸ができる可能性があります。その一つの手法として、一部の主電動機で中間給脂が行われていますが、いくつか課題がありました。そこで、劣化グリースを軸受から遠ざけ、未劣化グリースを軸受近くに供給し、安定した給脂効果が得られる新しい給脂機構を開発しましたので、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] グリース、潤滑油、
メンテナンス、劣化分析

グリースの話

潤滑剤には、大きく分けて油とグリースがあります。グリースとは、一般に、油(基油、ベースオイルと呼ぶ)に増ちょう剤を加えて反応させ、油中に繊維状構造を成長・分散させて半固体状にしたものです。グリースの内部では、増ちょう剤による繊維が密集し、油を保持しています。そして、使用する間に保持した油を少しずつ浸み出させることで、潤滑作用をもたらします。ここで、油を浸み出させる能力を「離油度」といいます。

グリース潤滑の状態を表す際には、離油という静的な潤滑作用の他に、使用における動的な状態を次のように表すことがあります。ころがり軸受内にグリースを封入して使用する場合、回転に従ってグリースが攪拌されますが、グリースそのものがそのまま潤滑作用

を行うグリースをチャーニング型のグリースと呼び、転動体(軸受の玉やころ)と保持器の回転の邪魔にならない部位に付着して離油するグリースをチャンネルリング型のグリース(☞参照)と呼びます¹⁾。主電動機軸受での潤滑ではチャンネルリングが支配的な状態になっており、これにより、高速回転時の低トルクを実現しています。

グリースの実用性能としては、長期間にわたって適度な量の油を供給することが理想であり、離油度が高すぎると油の流失が多くなり寿命が短く、また離油度が低すぎると潤滑膜の形成が十分でなく寿命が短くなるとされています²⁾。温度が上昇すると、基油の粘度が下がり、離油しやすくなるので、離油度の比較は同じ温度で行います。100℃での比較が一般的ですが、実使用条件でどの程度油が分離するかを確

☞ チャーニングとチャンネルリング¹⁾

グリース潤滑において、「グリース自体が潤滑面に入って潤滑する」という考え方で「潤滑作用が離油した油により行われ、グリース自身は油の供給源である」という考え方があり、前者を「チャーニング(Churning)」、後者を「チャンネルリング(Channelling)」と呼びます。実際には、厳密に分けられるものではなく、使用条件によって、いずれかが支配的になると考えられています。増ちょう剤の種類やちょう度、封入量等の条件により、影響を受けます。

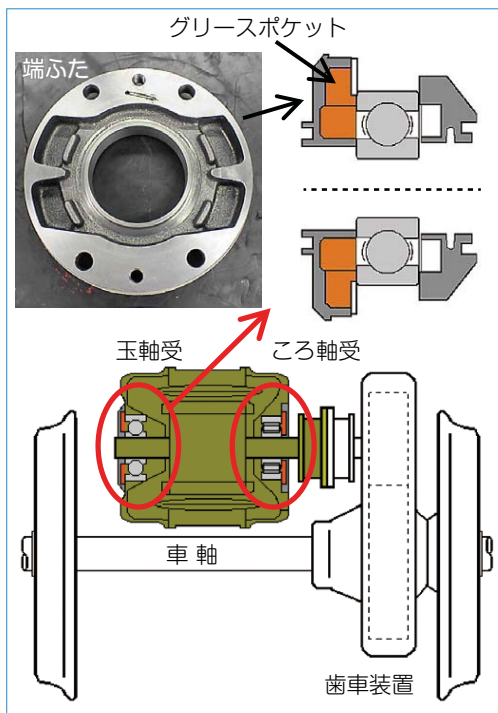


図1 主電動機軸受の周囲に設けられるグリースポケット

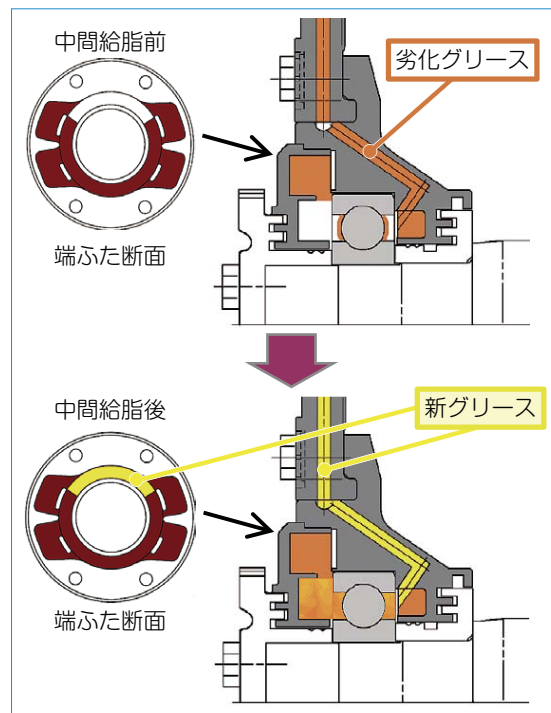


図2 従来の中間給脂

認するには、実際の使用温度での評価が必要になる場合もあります。

また、チャンネリングが主体となるような潤滑では、潤滑面に存在するグリースはわずかな量となるため、周囲からの油の供給が重要になります。従って主電動機では、軸受の近くにグリース溜め(グリースポケット)を設け、それを油のリザーバ(供給源)として、長期の潤滑を可能としています(図1)。

中間給脂とは

油・グリースのメンテナンス

軸受に潤滑剤(油またはグリース)を封入して使用した場合のメンテナンスを考えると、一般に、軸受の寿命に比べて、潤滑剤の寿命の方がはるかに短いため、機械を一定間隔で分解して潤滑剤を交換する必要があります。そこで、分解の手間をなくし、非分解で潤滑剤を交換することができれば、メンテナンス上大きなメリットになります。潤滑油の場合は、栓を抜いて古い油を排出し、洗浄剤や粘度の低い油を入れ低速で機械を運転させながら洗浄するフラッシングという方法³⁾、非

分解で洗浄が可能です。

グリースの場合も、軸受内で使用された劣化したグリースをまず排出するのが理想ですが、グリースはその硬さと特有のねばりがあるために油のような排出が難しく、非分解での交換には向きません。そこで、グリースの場合は、グリースニップルあるいは給脂ニップルと呼ばれる供給口をあらかじめ機械に設けておき、潤滑部分に直接新しいグリースを追加供給します(図2)。このように潤滑部分にグリースを供給することを「給脂」といい、このような方法を中間給脂¹⁾と呼びます。給脂により、古いグリースと新しいグリースが混合してしまいましたが、潤滑面にある古いグリースが押しつけられて、新しいグリースに置き換えられれば、機械を分解して洗浄する場合には及ばないものの、潤滑寿命をかなり延伸させる効果が期待できます。中間給脂は、鉄道用主電動機でこれまでに適用例があり、現在も一部の車両において行われています。

従来の問題点

主電動機では、軸受部分からのグ

リースの漏れを防ぐ構造になっているため、逆に、軸受にグリースを詰めすぎた場合には使用中にグリースが軸受の回転部から逃げる事ができず、攪拌熱でグリースの温度が上昇し、潤滑状態の悪化を招き、軸受が焼きつく可能性があります。そこで、軸受内部の空間に対して正確な量のグリースを供給する必要があり、現状の中間給脂では、供給する予定のグリース量に対し、それが収まる空間をあらかじめ設けておき、入れすぎないような配慮を行なっています。

しかし、その結果、軸受周囲の空間を、初期封入分と給脂分とで分配しなければならないため、供給量を増やそうとすれば、初期に封入するグリース量を減らさなければならず、給脂前の潤滑状態がかえって悪くなる可能性があります⁴⁾。そこで、主電動機軸受で中間給脂をより効果的に行うために、給脂分の空間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したので、紹介します。

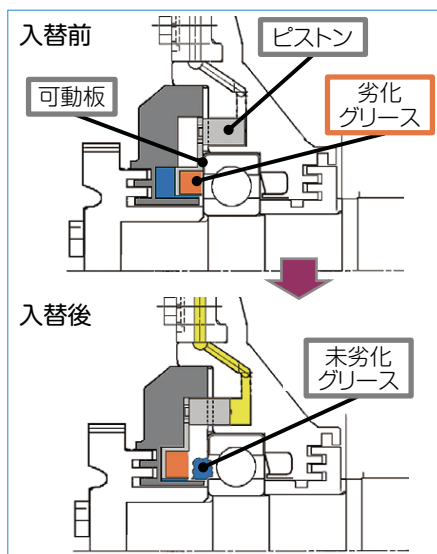


図3 入替給脂のしくみ

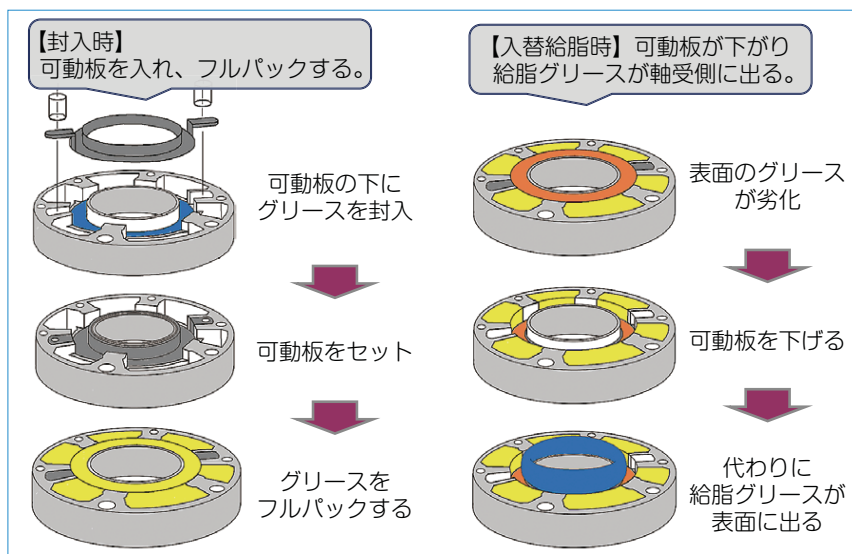


図4 端ふたへのグリース封入と入替給脂時のグリースの動き

新しい中間給脂方法

入替機構の考え方

図3は新しい給脂機構の模式図です。図4は端ふた内のグリースの動きを示したものです。端ふたに設けられたグリースポケットの中では、軸受の開口部に面した環状のグリースポケットのグリースが潤滑に最も大きく寄与していると考えられます。そこで、新しい機構では環状のグリースポケットを深さ方向に2分割する板（以下、可動板）を設け、使用開始時にグリースポケット内全体にグリースを封入（フルバック）します。そして、給脂の圧力で動くピストンを介して、可動板を軸受から遠ざける方向（図3の左方向、図4の下方向）に動かすことにより、軸受近くで使われ劣化したグリースを軸受から遠ざけ、同時に、深い方に封入された未だ劣化していないグリースに圧力をかけ軸受側へ供給する方法としました。

これにより、給脂前も給脂後も軸受近くにグリースが封入され、潤滑状態を良好に保つことができます。また、グリースを入れ換える構造とすることで、常に一定量のグリースが給脂されることになり、安定した潤滑効果を得ることができます。さらに、給脂グリースが軸受の内輪に沿った円周状に吹き

出すようにすることにより、均等に給脂を行うことができます。

留意すべき点

この新たな機構の最大の特徴は、給脂前には軸受近くにグリースが詰まっていた、入替動作時には給脂しながら軸受近くに必要の空間を形成する点にあります。一方で、可動板の移動量すなわち入替量が十分でない場合、端ふたの内部でのみグリースの交換が起こり、軸受に十分な量が給脂されない可能性があります。後で述べる実物大試験で使用したモデルについては、給脂グリースが軸受内を通り、反対側（内側のグリースポケット）まで移動したことを確認しました。

給脂時期と寿命延伸効果

中間給脂の効果を検討する中で、給脂の時期が重要であることが明らかとなりました⁵⁾。そこで、効果の高い給脂時期をさぐるために、小型の軸受を用いて、給脂時期をずらしグリースの寿命がどのように変化するかを調べた結果を図5に示します。初期に2gの全量を封入した場合の寿命（図中、基準の寿命）に対して、初期には1.6gを封入し、0.4gのグリース追加の時期を

基準寿命の12.5%、25%、50%、75%として寿命延伸効果を比較しました。寿命の判定は、試験装置で規定されている「潤滑不良による急激な温度上昇」等で判断しました。その結果、寿命の25%の時点で給脂した場合に、基準の寿命からの延伸効果が最も高いことがわかりました。一方、12.5%の時点で給脂した場合には、延伸効果はほとんど見られず、75%の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ました。これは、1.6gを初期に封入した場合の寿命が、給脂予定時期よりも短かった結果と考えられます。

この結果を、車両の検査周期に当てはめて考えると、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ます。

実物大軸受による寿命確認

入替給脂機構を適用した場合の潤滑寿命を確認するため、実際の車両で主電動機に使われている軸受・グリースを使用し、ベンチ試験で長期間の回転試験を行いました⁵⁾。入替給脂機構は、端ふたの厚さを大きくすることによって、入替量を多く設定することができます。この試験では、実用の主電動機

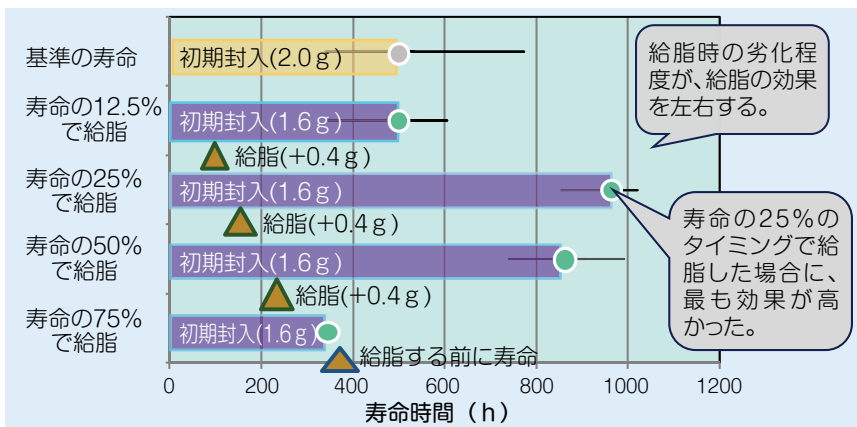


図5 給脂時期による寿命延長効果の比較

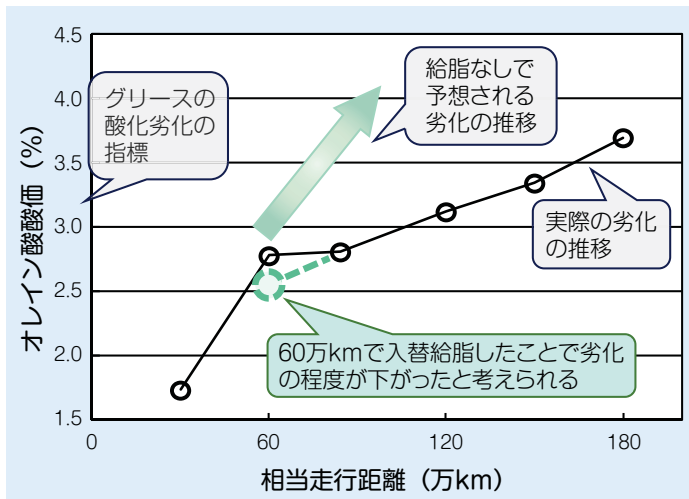


図6 長期試験の劣化推移

の外形を変更しない範囲で構成できるよう入替給脂機構を設計しました。端ふたと内側のグリースポケットには全体にグリースを封入し、軸受へは、その空間容積の30%にあたる量を封入しました。

試験条件

試験条件は、在来線車両の走行条件をふまえて、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6044回転/分としました。また、温度は、速度130km/hの在来線車両の走行試験での測定結果から設定しました。試験は、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ました。入替給脂は、前述の検討により、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時点で行ったとこ

ろ、180万kmまでに寿命の兆候はありませんでした。

給脂による劣化への影響

給脂の劣化軽減効果について確認するため、30万km走行に相当する累積回転数ごとにころ軸受から採取したグリースの酸化劣化の推移を確認しました(図6)。酸化劣化が進むと、最終的には油膜が保てなくなり、潤滑不良を起こします。劣化の指標は、酸価(オ

酸価(オレイン酸)

赤外吸収スペクトルを測定し、酸化劣化で現れるカルボニル基(C=O)と油に起因する炭化水素基(CH)の吸光度の比を、酸化のモデル物質の量に換算した値を、酸化劣化の尺度としています。鉄道総研では、モデル物質として代表的な酸であるオレイン酸を使用しています。値が大きいかほど酸化劣化が進んでいることを示します。

レイン酸) (☞参照)を用いています。60万kmで採取した後、入替給脂を行いました。給脂直後の試料は採取していませんが、その後の劣化の推移から、給脂直後では、点線丸で示す位置まで酸価が下がっていたと推測でき、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ます。また、試験開始から入替給脂(60万km)までの推移に対し、給脂後には劣化速度が遅くなっていることがわかります。これは、給脂そのものの効果に加え、給脂前には環状グリースポケットの半分しか使用していないのに対し、給脂後は可動板が環状グリースポケットの底まで下がり、ポケットの容量が増えるため劣化が遅くなっていると考えられます。

まとめ

本稿では、主電動機の潤滑寿命延伸の課題とそれに対する対応策の例について述べました。鉄道車両の省メンテナンス化では、潤滑剤の寿命延伸やそのためのメンテナンス方法は中心的な課題であり、解決方法の一例として参考になれば幸いです。

ここに紹介する入替給脂機構の開発は、鉄道総研と(株)東芝との共同研究により実施しました。[RRR]

文献

- 1) 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, (2001), p.715, p.851
- 2) 一般社団法人日本トライボロジー学会グリース研究会編：潤滑グリースの基礎と応用, 養賢堂, 2007, p.129
- 3) 日本潤滑学会編：改訂版潤滑ハンドブック, 養賢堂, (1987) p.740
- 4) 日比野, 松岡, 永山：主電動機軸受の潤滑寿命延伸の取り組み, JREA, Vol.51, No.11 (2008), pp.11-14
- 5) 日比野, 中村, 細谷：主電動機軸受のグリース入替給脂機構, 鉄道総研報告, Vol.25, No.10, pp17-22, 2011.10