

- 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

長寿命ギヤ油で歯車装置のメンテナンスを省力化する

電車の歯車装置では、歯車のかみ合い面や軸受部などの潤滑に、ギヤ油という潤滑油が使用されています。ギヤ油はせん断荷重、熱などにより劣化するため、メンテナンス時に定期的に交換することが必要ですが、長寿命化によって交換の周期を延ばし、交換回数を減らすことができれば、歯車装置のメンテナンスを省力化できる可能性があります。ここでは、基油を化学合成油（ポリアルファオレフィン）と高度精製鉱油の混合基油とすることで酸化安定性を向上した、在来線電車向け長寿命ギヤ油を紹介します。



木川 定之
Sadayuki Kikawa
材料技術研究部
潤滑材料研究室
研究員
[専門分野]潤滑油・グリース、潤滑剤劣化分析



鈴木 淳一
Junichi 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



曽根 康友
Yasutomo Sone
材料技術研究部
部長
[専門分野]潤滑剤の化学



中村 和夫
Kazuo Nakamura
前 材料技術研究部
潤滑材料研究室
[専門分野]潤滑油・グリースおよび関連する機械要素

歯車装置とギヤ油

歯車装置(図1)は、電車において主電動機の動力を車輪に伝える重要な部品です。日本の電車で多く採用されている平行カルダン式の歯車装置の構造

の例を図2に示します。主電動機からの回転トルクは歯車装置の小歯車と大歯車により減速されて車軸および車輪に伝わります。

この歯車装置の潤滑油として用いら

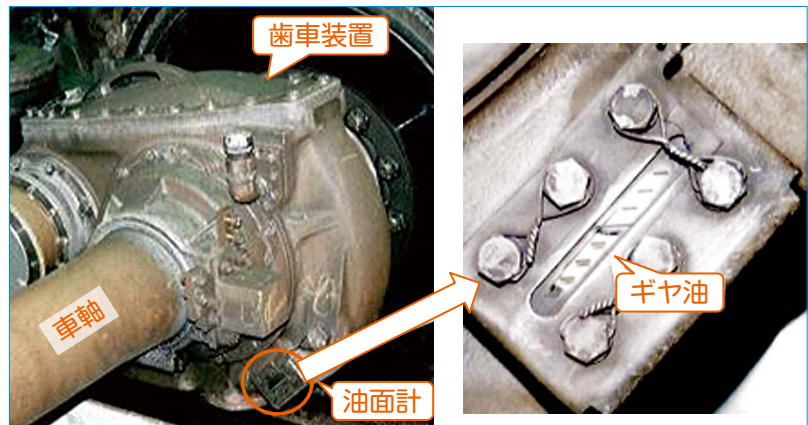


図1 電車の歯車装置とギヤ油の例

ギヤ油に必要とされる性能

厳しい環境で長期間使用される鉄道用ギヤ油では、主に以下のような性能が求められます。

- ・耐荷重性：歯車のかみ合い部や軸受で生じる高いせん断荷重下において、十分な油膜を保つ耐荷重性が要求されます。
- ・耐熱性：高速回転する歯車によって生じるかくはん熱などにより油が加熱されると酸化劣化が生じ、油の粘度上昇や不溶性重合物の生成などが起きるため、発生する熱に対応した耐熱性（酸化安定性）が要求されます。
- ・低温流動性：低温下で粘度が高くなると、特に起動時において潤滑油が必要な箇所に到達しにくくなることから、使用環境で想定される低温に必要な流動性を有することが要求されます。

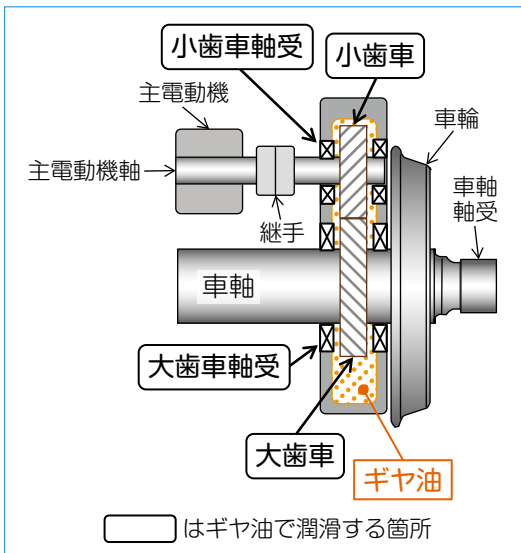


図2 歯車装置の構造の例 (平行カルダン方式)

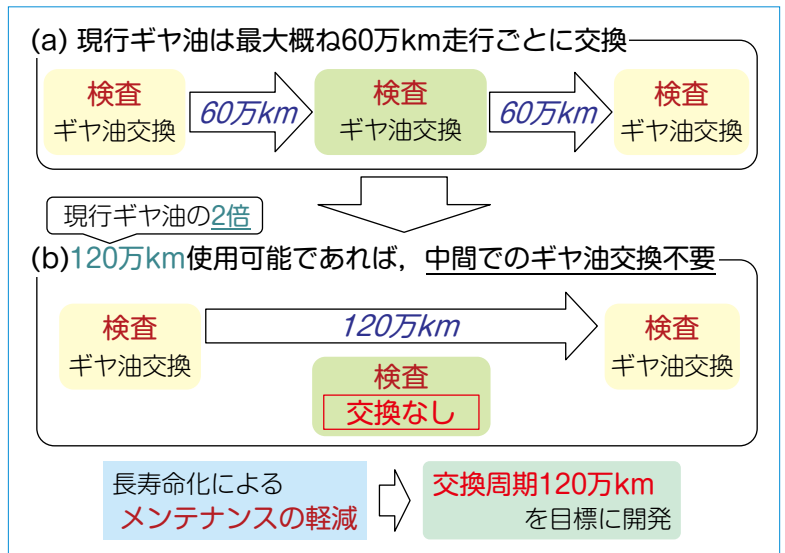


図3 ギヤ油の長寿命化による歯車装置メンテナンス軽減のイメージ

れているのが「ギヤ油」です。ギヤ油は歯車箱内の大歯車の下に数リットル入れられており、大歯車の回転によってはね上げられた潤滑油が、小歯車と大歯車のかみ合い部や車軸、小歯車軸に取り付けられた軸受（大歯車軸受、小歯車軸受）に供給されるようになっています。この潤滑方式を「はねかけ潤滑」と呼びます。鉄道用のギヤ油としては、鉄道向けに開発された専用の潤滑油が使用されているケースと、大型自動車のディファレンシャルギヤやマニュアルトランスミッションに使われる潤滑油が使用されているケースがあります。

ギヤ油の交換と長寿命化

ギヤ油は歯車かみ合い部や軸受で発生する高いせん断荷重を受ける、高速回転する歯車によるかくはん熱が加わるなどの厳しい環境で使われることから、性能（参照）を維持するためには定期的に交換する必要があります。

フラッシング

新しいギヤ油を給油する前に、歯車装置内部の異物などを取り除いて清浄する作業。未使用のギヤ油などを給油して一定時間回転させたのち、その油を排出する。

す。在来線電車において現在使われているギヤ油の交換周期は、車両によって様々ですが、図3(a)に示すように概ね最大60万km走行ごと（重要部検査、またはそれに相当する検査ごと）となっています。したがって、この検査ごとにギヤ油を抜き、フラッシング（参照）をして、ギヤ油を補給するという作業が、歯車装置の台数と同じ数だけ発生することになります。

ここで、現在の使用距離の2倍である120万km走行まで交換せずに使用可能となる長寿命ギヤ油を開発できれば、図3(b)のように、最大60万kmごととしている現行の検査周期はそのまま、ギヤ油交換にかかわる作業の回数を半分に減らすことができます。現在、歯車装置周辺の部品ではギ

ヤ油が最も頻繁に交換を要することから、ギヤ油を長寿命化することによって、例えば「油の交換がない場合は歯車装置の検査を目視確認とする」など、メンテナンスを大幅に省力化できる可能性があります。

そこで、現行ギヤ油の最大交換周期の2倍である120万km走行を無交換で使用できることを目標として、在来線電車用の長寿命ギヤ油を開発しました¹⁾。

現行ギヤ油の分析と目標性能の設定

長寿命ギヤ油を開発するにあたり、現行ギヤ油の使用状況を確認するため、営業車両で実際に使用されたギヤ油を採取し、表1に示す項目の分析を行いました。

表1 ギヤ油の分析項目

分析項目	分析内容	管理基準値
動粘度	潤滑油の動粘度を測定する。酸化劣化などで増加、水の混入やせん断などにより減少する。	変化率 ± 15%以下
溶剤不溶分	酸化劣化生成物や摩耗金属などの量の目安として、有機溶剤に溶解しない油中成分を定量する。	1.0%以下
水分	歯車装置内に外部から混入した水分の量を定量する。	0.2%以下
全酸価	酸化劣化の指標として、油中の酸性成分を定量する。	増加値 +0.5mgKOH/g 以下

表2 開発ギヤ油の仕様目標

酸化安定性	120万 km 走行相当使用後に全酸価増加値 +0.5mgKOH/g 程度
流動性(粘度)	低温流動性を改善 高温での粘度は現行ギヤ油と同程度
潤滑性能	現行ギヤ油と比較して同等以上 (焼付き防止性能、摩耗防止性能など)

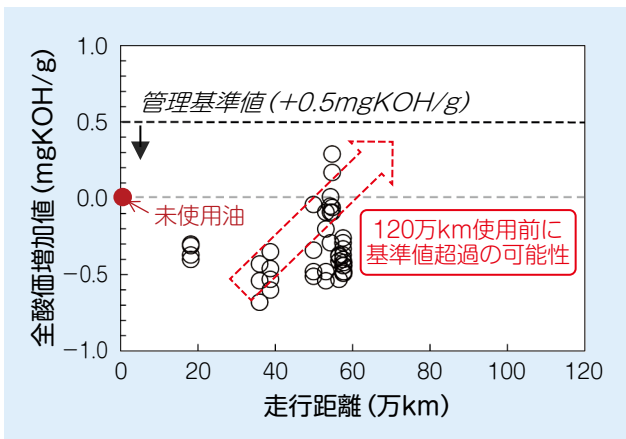


図4 現行ギヤ油の全酸価増加値分析結果

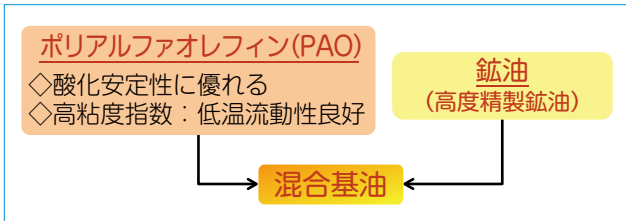


図5 混合基油のイメージ

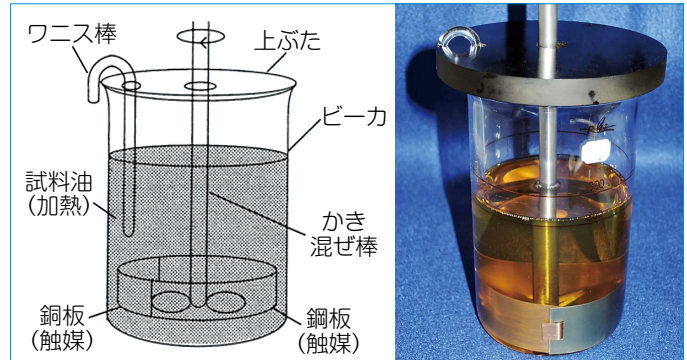


図6 かくはん酸化劣化試験 (ISOT)

分析の結果を、鉄道総研が潤滑油・グリースの継続使用可否を判断する目安として提案している「管理基準値」(表1)²⁾と比較したところ、動粘度、溶剤不溶分、水分については問題のない値でしたが、全酸価については40万km使用以降増加値が上昇しており、目標とする120万km走行までに管理基準値を超えてしまう可能性があることがわかりました(図4)。このことから、長寿命ギヤ油の開発では酸化安定性の向上が必要であると判断し、表2

に示す目標仕様を設定しました。酸化安定性については、目標である120万km走行使用後において「全酸価増加値が+0.5mgKOH/g」を目安としました。また、寒冷地でも問題なく起動できるように、低温流動性についても改善を試みました。

「混合基油」による高機能化

潤滑油は一般に、基材となる油である「基油」と、酸化防止剤、極圧剤など、基油の性能をさらに高めるために加え

られる「添加剤」で構成されています。酸化安定性を高める手段としては、基油をより酸化安定性の高いものに変更する方法と、添加剤である酸化防止剤を強化する方法があります。

今回開発したギヤ油(以下、開発ギヤ油)では、潤滑油の大部分を占める基油を、現行ギヤ油で使用されている鉬油から合成油に変更することにより、大幅な酸化安定性の向上を図りました(☞参照)。合成油には様々な種類がありますが、酸化安定性が高いこと、粘度指数(☞参照)が高いことなどから、開発ギヤ油では炭化水素系の「ポリアルファオレフィン」(以下PAO, ☞参照)を採用しました。また、合成時にメタロセン触媒を用いたPAOを用いることにより、さらなる低温流動性の向上、かくはん損失の低減など、高機能化を目指しました。

しかし、基油をPAOのみで構成すると、現行ギヤ油からのコスト増加が大きく、省メンテナンスによるコスト低減の効果を相殺してしまう可能性があります。そこで開発ギヤ油では、PAOによる性能向上を損なわない範

☞ 鉬油と合成油³⁾

潤滑油の基油は、その製造方法により、原油を蒸留して得られた留分を精製した「鉬油」と、化学合成により作られた「合成油」とに分けられます。合成油を用いることにより、鉬油では実現が難しい高い性能(酸化安定性、低温流動性など)を実現することができますが、コストは一般に鉬油と比較して高くなります。合成油には開発ギヤ油で使用したポリアルファオレフィンのほか、エステル系、フェニルエーテル系など多くの種類があり、それぞれ化学構造に由来する異なる特長を有しています。

☞ 粘度指数

潤滑油の粘度と温度の関係を表す数値であり、値が大きいほど温度変化による粘度の変化が少ないことを示します。

☞ ポリアルファオレフィン (PAO)

ポリアルファオレフィンは炭化水素である α -オレフィンから合成される合成油です。鉬油に近い化学構造ですが、鉬油と比較して酸化防止剤の添加効果が高い、不純物を含まないため低温流動性が高いなどの特長があります。

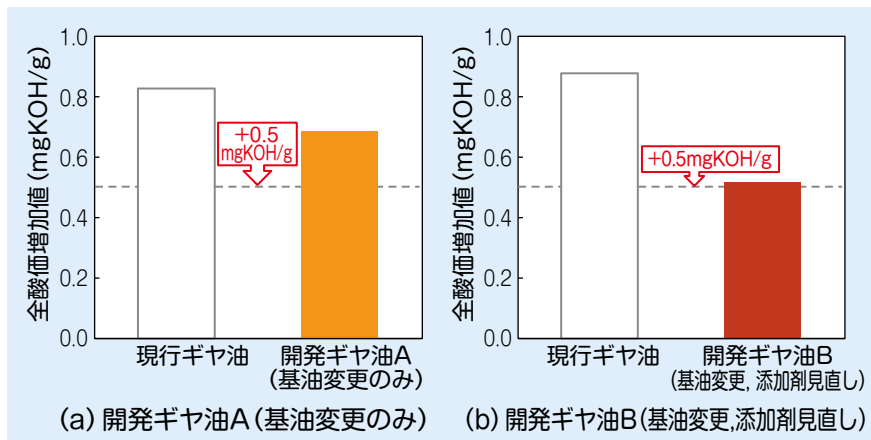


図7 かくはん酸化劣化試験(135°C, 96時間)後の全酸価増加値 (同時に試験を実施した現行ギヤ油との比較)

囲で、高度精製鉱油と呼ばれる、従来の鉱油よりも高度な精製を行った鉱油を混合した「混合基油」(図5)を採用することにより、基油の高機能化と現行ギヤ油からのコスト増加の抑制を両立しました。

開発ギヤ油の製作と試験

前項で示した「混合基油」を基油としたギヤ油を製作し、酸化安定性の試験として「かくはん酸化劣化試験」(Indiana Stirring Oxidation Test: ISOT)を行いました。かくはん酸化劣化試験は、鉄、銅の触媒が入った試験油をかくはんしながら加熱して油を酸化劣化させ、試験後の油の全酸価などを測定することによって、酸化劣化の度合いを見積もる試験です(図6)。本開発では、在来線電車での約130万kmの走行に相当する劣化の再現¹⁾として、試験温度を135°C、試験時間を96時間と設定し、同時に試験を実施した現行ギヤ油との比較を行いました。

はじめに、基油を混合基油に変更し、添加剤は現行ギヤ油と同一とした「開発ギヤ油A」について試験を実施しました。結果は図7(a)のようになり、同時に試験を実施した現行ギヤ油と比較して全酸価増加値が低下していることから、混合基油によって酸化安定性が向上することが示されまし

た。しかし、目安とした「全酸価増加値+0.5mgKOH/g」は、基油の変更のみでは達成できませんでした。

そこで、基油の変更に加え、一部添加剤の見直しを行った「開発ギヤ油B」を製作し、同様に試験を行いました。結果は図7(b)のようになり、全酸価増加値はさらに減少して、目安とした値を達成することができました。また試験後の動粘度、溶剤不溶分(ヘプタン)、および塩基価についても良好な値を示しました。以上から、開発ギヤ油Bは「120万km無交換で使用可能」という目標に対応できる酸化安定性を有することが示されました。

この結果を受け、目標とする酸化安定性を有する開発ギヤ油Bについて、低温流動性に関する試験、潤滑性能に関する試験などを行い、以下(1)~(3)を確認しました。

(1) 開発ギヤ油Bでは現行ギヤ油と比較して、粘度指数の向上、流動点

の低下を実現しており、低温流動性が大幅に改善されています。一方、高温での粘度は現行ギヤ油と同程度を確保しています。

- (2) 高速四球試験(☞参照)、IAE型歯車試験機試験(☞参照)の結果から、開発ギヤ油Bの潤滑性能は現行ギヤ油と比較して同等以上です。
- (3) せん断安定性、あわ立ち性についても、要求される性能を満足しています。

以上の結果から、開発ギヤ油Bが120万km無交換での使用に対応するギヤ油として提案できる性能を有していることが示されました。詳細な試験方法、試験結果、および開発ギヤ油の性状については、鉄道総研報告¹⁾にて報告しています。

おわりに

ポリアルファオレフィンと高度精製鉱油の混合基油の採用、および一部添加剤の見直しにより、現行ギヤ油からコスト増の抑制を考慮しながら120万km無交換に対応した在来線電車用の長寿命ギヤ油を開発しました。歯車装置において最も頻繁に交換を必要とするのはギヤ油であることから、長寿命ギヤ油を使うことにより、歯車装置のメンテナンスの省力化、最適化が期待されます。

この開発は、出光興産株式会社との共同研究により実施しました。**RRR**

☞ 高速四球試験

固定した3個の鋼球に上から1個の鋼球を押しつけて回転させ、潤滑油の耐荷重性能、耐摩耗性能を評価する試験。

☞ IAE型歯車試験機試験

2枚の歯車のかみ合い部に荷重をかけ、潤滑油を流しながら回転させ、歯面に損傷が生じるまでの荷重によって潤滑油の耐荷重性能を評価する試験。

文献

- 1) 木川 他：在来線電車歯車装置用長寿命ギヤ油の開発、鉄道総研報告、Vol.28, No.2, pp.35-40, 2014
- 2) 鈴木 他：電車走り装置用潤滑剤の劣化評価、鉄道総研報告、Vol.11, No.9, pp.25-30, 1997
- 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、pp.579-589, 2001