

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

寒冷地に対応した新幹線車両用ギヤ油を開発する

新幹線の路線網が寒冷地に拡大するにともない、車両においても雪や低温に対応することが求められます。そこで、寒冷地を走行する新幹線車両向けに、低温流動性を向上した新幹線車両用ギヤ油を新しく開発しました。開発したギヤ油では、高度精製鉱油(グループⅢ)を主とした基油の採用、粘度指数向上剤の配合などにより、現行ギヤ油からのコストの増加を小さくおさえながら、 -30°C の低温環境においても安定して歯車装置を起動可能な低温流動性を実現しました。



木川 定之
Sadayuki Kikawa
材料技術研究部
潤滑材料研究室
副主任研究員



鈴木 淳一
Junichi Suzumura
材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員

はじめに

新幹線の路線網が寒冷地に拡大するにあたり、そこで使用される車両においても、寒冷地の環境の中で安定して走行できる性能が求められます。その課題のひとつとして、歯車装置に使われる潤滑油である「ギヤ油」の低温流動性があります。ここでは、寒冷地を走行する新幹線車両向けに開発した、低温流動性を向上したギヤ油(以下「開発ギヤ油」)について紹介します。

歯車装置とギヤ油

歯車装置は、主電動機(モーター)からの回転力を受け、装置内の歯車によって減速して車軸、車輪に力を伝える役割を担う装置です。近年の車両で多く採用されている平行カルダン駆動方式(☞参照)の歯車装置の構造は図1に示すようになっており、主電動機と接続された小歯車軸および小歯車、車

軸に圧入された大歯車、小歯車軸と歯車箱を支えるそれぞれの軸受、およびこれらを収めている歯車箱で構成されています。

この歯車装置では、潤滑剤としてギヤ油が使われています。ギヤ油は図2に示すように、歯車箱の底部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て箱内に拡散させる「はねかけ」により、小歯車と大歯車のかみ合い部、およびそれぞれの軸受を潤滑します。

歯車のかみ合い部や軸受では大きなせん断荷重が発生するため、ギヤ油には高荷重下で十分な潤滑性能を保持する耐荷重性が求められます。また、ギヤ油は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高温になること、そして給油から長い期間使用されることから、使用条件に応じた酸化安定性(耐熱性)、および長期耐久性も

☞ カルダン駆動方式

電車の駆動方式の一種であり、主電動機を台車枠に固定し、可とう継手(TD継手、WN継手など)を介して主電動機軸と小歯車軸を接続する方式です。歯車装置と主電動機の位置関係や軸の形状により、直角、中空軸平行、中実軸平行などの方式に分類されます。近年は中実軸平行カルダン方式が主流となっています。

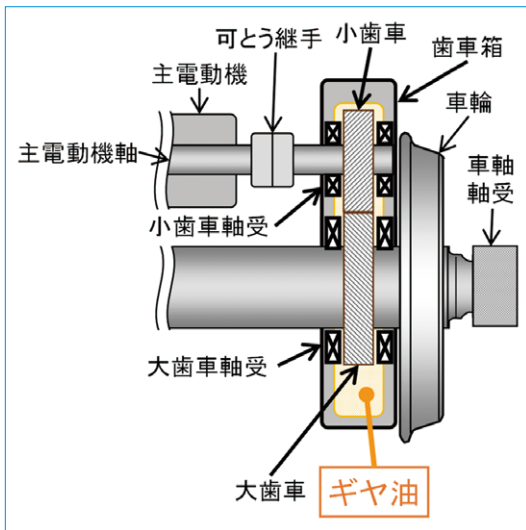


図1 電車歯車装置とその周辺の構造
(中実軸平行カルダン駆動方式)

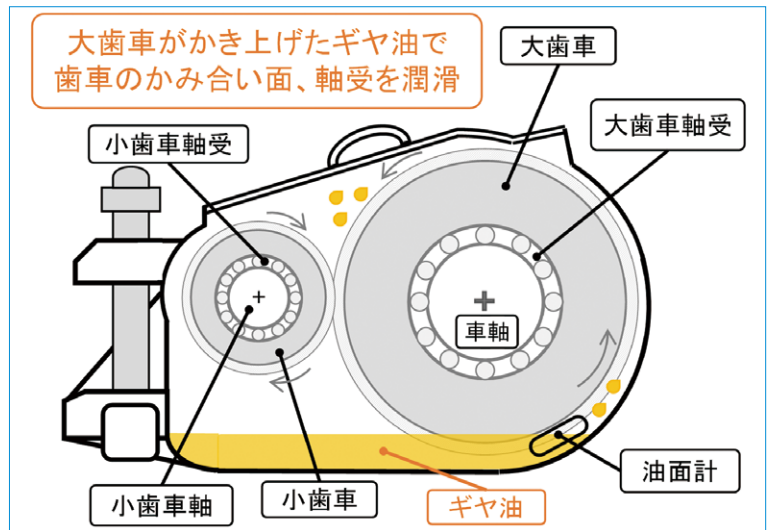


図2 電車歯車装置におけるギヤ油とはねかけによる潤滑
(正転方向の例)

必要とされます。そして、低温環境での使用が想定される場合には、十分な低温流動性をもつことが求められます。

ギヤ油の低温流動性

一般に、潤滑油は低温になると粘度が増加し、流動性が低下します。ギヤ油が十分な流動性をもたない状態で車両を起動すると、図2に示した潤滑油の「はねかけ」が適正に行われず、潤滑不良に起因する不具合が発生することが懸念されます。とくに、油溜めから離れているためギヤ油が到達しにくい小歯車軸受において潤滑条件が厳しくなることが知られています¹⁾²⁾。一方で、潤滑油は高温になると粘度が低下し、それにつれて潤滑面で形成される油膜の厚さが薄くなります。そのため、高速走行、連続走行時の高温環境で十分な油膜を形成するために一定以上の粘度を確保する必要があります。

新幹線車両においても、路線網の寒冷地への拡大にともなって、ギヤ油について十分な低温流動性をもつことが求められます。しかし、現在使用されている新幹線車両用ギヤ油(以下「現行ギヤ油」)は温度低下にともなう粘度の増加が大きく、今後想定される

表1 現行ギヤ油と開発ギヤ油の組成の比較

		現行ギヤ油	開発ギヤ油
基油		鉱油 (グループI)	高度精製鉱油 (グループIII) 主体
添加剤	粘度指数向上剤	なし	あり
	摩擦調整剤	なし	あり (モリブデン系)

低温環境では流動性が不足することが懸念されました。また、過去に最高速度400km/h域の高速新幹線向けに開発されたギヤ油³⁾は、低温流動性についても優れていましたが、合成油を基油としていることから高価であるため、現行ギヤ油からのコストの増加が大きくなるという課題がありました。そこで、寒冷地を走行する新幹線車両向けに、現行ギヤ油からのコスト増を小さく抑えながら、今後対応が求められる-30℃の低温環境下においても十分な流動性を有するギヤ油を新規に開発しました。

開発ギヤ油の性能目標と組成

開発にあたり、低温流動性の性能目標は「現行ギヤ油では対応が難しい-30℃の環境において、歯車装置を安定して起動できること」としました。

また、酸化安定性や潤滑性能については、十分な実績を有している現行ギヤ油に対して同等以上の性能を有することとしました。

この目標を達成するため、開発ギヤ油では、現行ギヤ油から次の点を変更しました(表1)。

(1) 高度精製鉱油を主とした基油

ギヤ油の組成の大部分を占める基油について、現行ギヤ油と比較して精製度の高い「高度精製鉱油」(API分類: グループIII) (参照) を主体とすることにより、低温流動性や粘度指数(参照)、酸化安定性を向上しました。また、鉱油系の基油を使用することにより、合成系の基油を用いる場合と比較して、現行ギヤ油からのコストの増加を抑制しました。

(2) 粘度指数向上剤

開発ギヤ油では粘度指数向上剤(参照)

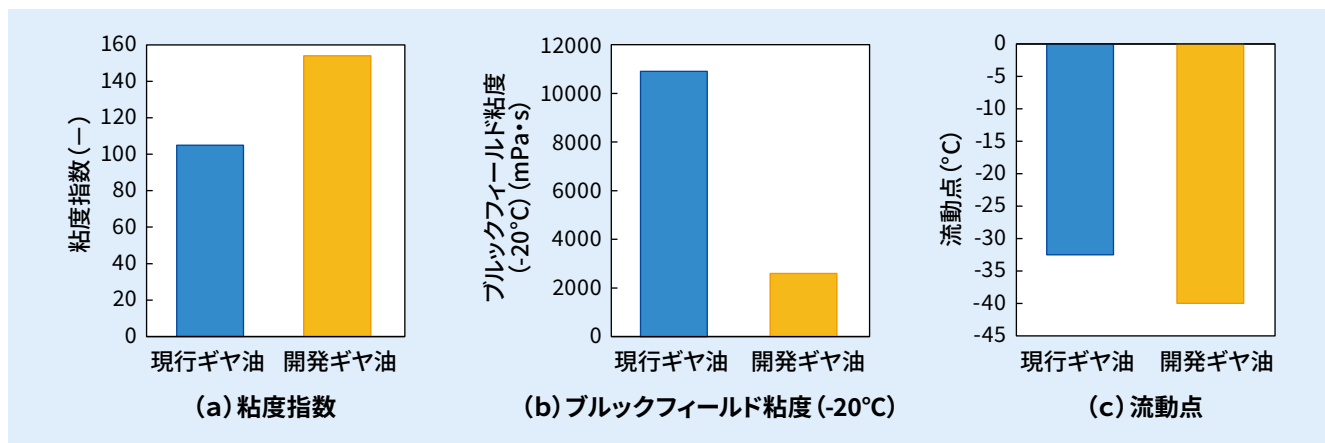


図3 現行ギヤ油と開発ギヤ油の低温流動性の評価

参照)を新規に配合して粘度指数を向上させ、十分な低温流動性を維持しながら、高温下で必要な粘度を確保しました。電車の歯車装置では、油が大きなせん断力を受ける部位が多いことから、せん断力を受けても粘度指数向上効果の低下が起きにくい、低分子量の粘度指数向上剤を採用しました。

(3) 摩擦調整剤, その他の添加剤

開発ギヤ油では、耐荷重性能、耐摩耗性能の確保のため、自動車エンジン油、ディファレンシャルギヤ油などで使用実績、検討実績のある⁴⁾モリブデン (Mo) 系の摩擦調整剤を新規に配合しました。また、酸化防止剤などの添加剤について、前述した既開発の合成系ギヤ油で使用されているものに変更しました。

試作したギヤ油における低温流動性の評価として、粘度指数、-20°C

におけるブロックフィールド粘度(参照)、流動点(油が流動性を示す最低温度)を現行ギヤ油と比較しました。その結果、粘度指数が向上していること(図3(a))、-20°Cにおける粘度が現行ギヤ油と比較して低くなっていること(図3(b))、流動点が現行ギヤ油と比較して低下していること(図3(c))が認められ、開発ギヤ油は現行ギヤ油と比較して低温流動性が向上していることがわかりました。なお、開発ギヤ油の100°Cにおける動粘度は現行ギヤ油と同程度であり、高温域での油膜形成に必要な粘度を確保しながら低温流動性を向上しています。

また、実験室試験により、現行ギヤ油と比較して酸化安定性が向上していること、潤滑性能が同等以上であることが認められ、いずれの項目も性能目標を満たしていることを確認しました⁵⁾。

開発ギヤ油の性能試験

低温流動性の向上が確認された開発ギヤ油について、-30°Cにおける性能を確認するため、新幹線車両の歯車装置を用いた低温起動性能試験を実施しました。低温起動性能試験の試験装置は図4のような構成になっており、試験に供するギヤ油を入れた歯車装置を、規定温度に冷却した室内で回転させることができます。ここでは、性能目標で設定した-30°Cの環境下において、実車と同様の加速度で最高速度相当の回転数まで回転数を上昇させたのち、最高回転数を30分間維持する回転パターンでの試験を実施しました。試験中は小歯車軸受、大歯車軸受それぞれの外輪温度を測定し、試験中に潤滑不良によるものとみられる著大な温度上昇が10秒程度続けて発生した場合是否判定、そのような温度上昇がな

API 分類

米国石油協会 (American Petroleum Institute : API) により規定された潤滑油基油の分類であり、グループⅠ～Ⅲは鉱油 (石油を精製して作られる基油)、グループⅣはポリ α オレフィン系の合成油 (化学合成により作られる基油)、グループⅤはⅠ～Ⅳに属さないもの (エステル系合成油など) とされています。開発ギヤ油で用いたグループⅢ鉱油は、鉱油系基油の中でも精製度の高いものであり、「高度精製鉱油」とよばれています。

粘度指数

潤滑油における粘度の温度依存性の目安となる指標です。40°C、100°Cの動粘度から算出することができ、数値が大きいほど温度変化による粘度の変化が小さいことを示します。

粘度指数向上剤

温度による粘度の変化を小さくする (粘度指数を大きくする) ために使用される添加剤であり、高温環境での粘度低下を抑制する作用があります。

ブロックフィールド粘度

流体中でスピンドルを回転させたときのトルクから粘度を求めることができる「ブロックフィールド粘度計」により測定された粘度です。潤滑油の低温における粘度の測定法として広く使われています。

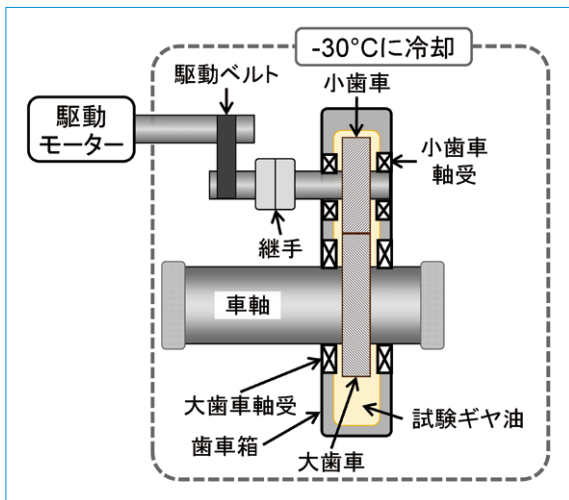


図4 低温起動性能試験の試験装置



図5 開発した新幹線車両用ギヤ油

表2 低温起動性能試験の結果

試験条件	最高回転数	320km/h 走行相当		360km/h 走行相当	
	油量	通常油量	規定下限油量	通常油量	規定下限油量
現行ギヤ油		温度上昇大：否判定 (小歯車軸受車輪側)		(試験実施せず)	
開発ギヤ油		良好	良好	良好	良好

ければ良好判定としました。ギヤ油の量については規定量のほか、より厳しい潤滑条件となる規定下限量（これ以上の減少がみられた場合、検査時に補油を行う量）での試験も実施しました。

低温起動性能試験の結果を表2に示します。現行ギヤ油では規定油量、最高回転数320km/h相当の条件で小歯車軸受外輪に温度上昇がみられ、否判定となりました。一方、開発ギヤ油ではもっとも厳しい条件である規定下限値の油量、最高回転数360km/h相当の条件でも大きな温度上昇はみられず、良好判定であることが確認されました。この結果から、開発ギヤ油の低温流動性について、「-30℃の環境において、歯車装置を安定して起動できること」という性能目標を満たしていることがわかりました。

さらに、長期耐久性などについて確認するため、開発ギヤ油を新幹線車両に搭載した現車走行試験を実施しました⁵⁾。試験期間は最長で、現在の更油

周期（ギヤ油の交換周期）である1台車検査期間（最大60万km走行）としました。試験後のギヤ油について、酸化劣化の程度、油中の摩耗金属粉の量などを分析した結果、目立った劣化がみられる項目はなく、1台車検査期間使用した後も、開発ギヤ油の状態は良好でした。また、試験後のギヤ油の一部について-30℃におけるブルックフィールド粘度を測定し、1台車検査期間の使用後においても低温流動性が良好であることを確認しました。これらの結果から、開発ギヤ油が現在の更油周期での使用に十分な性能を有していることがわかりました。

おわりに

寒冷地を走行する新幹線車両向けに、低温流動性を向上した歯車装置用ギヤ油を新しく開発しました(図5)⁵⁾。このギヤ油については現在、現車での採用に向けたさらなる試験を実施しており、開発ギヤ油により寒冷地での安定

走行に資することを目指した取り組みを進めています。

なお、本報告の内容には、JX日鉱日石エネルギー株式会社（現 ENEOS 株式会社）との共同研究の成果が含まれています。[RRR]

文献

- 1) 小野寛：高速鉄道用歯車装置，トライボロジスト，Vol.58，No.7，pp.473-478，2013
- 2) 田中清，鈴木政治：寒冷地運用電車ギヤ油の開発（第1報）－試作80W-90マルチグレードギヤ油の性能確認試験－，鉄道技術研究所速報，A87，No.54，1987
- 3) 中村和夫，鈴木政治，曾根康友：高速化，省メンテナンス化に寄与する合成ギヤ油，RRR，Vol.55，No.7，pp.18-21，1998
- 4) 栗原功，小松原仁：省燃費デファレンシャルギヤオイルの開発，自動車技術，Vol.71，No.9，pp.75-80，2017
- 5) 木川定之，鈴木淳一，沓掛久志：低温流動性を向上した新幹線車両用ギヤ油の開発，鉄道総研報告，Vol.32，No.10，pp.23-28，2018