

新幹線用低温対応ギヤ油の開発

Development The Gear Oil with Improved Low-temperature Startability for Shinkansen



関川 翔子*



長 恵美子**



鈴木 史比古***



岩波 健*



島宗 亮平*

The shinkansen is expected to be extended in the future toward the cold district. Accordingly, the gear oil for the shinkansen is essential to improve the low temperature startability. Also it is important to improve the thermal oxidation stability and the durability in terms of speed up. Therefore we developed the gear oil for the shinkansen that can fully demonstrate its performance even in the cold district, can cope with high-speed driving, and suppress cost increase. And we carried out various performance tests and the bench rotation test on this developed gear oil, and confirmed good results.

●キーワード：新幹線高速化、台車、駆動装置、ギヤ油、潤滑、トライボロジー、性能試験

1. はじめに

電車の走り装置において主電動機からの駆動力を車軸に伝える役割を担う駆動装置は、図1に示すように大小歯車及び軸受から構成される。そして、大歯車と小歯車の噛みあい部及び軸受の潤滑のため、潤滑油（以下ギヤ油）が使用されている¹⁾。

当社はこれまで、時速360km/hの営業運転の実現に向けた研究開発を進めてきた。今回これに加えて、現行より厳冬環境での走行を想定し、低温環境下での性能向上が求められる高速新幹線用ギヤ油に着目し、開発を進めてきた。

本稿では、その開発概要や試験結果について紹介する。

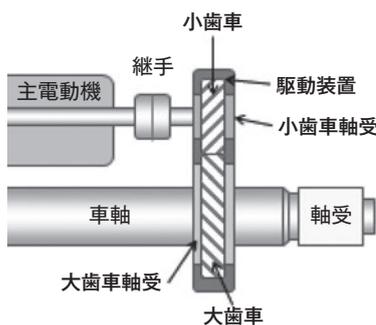


図1 駆動装置の構造

2. ギヤ油の開発概要

2.1 開発ギヤ油の目標設定

現行より厳冬環境での走行を想定し、-30℃の低温環境における駆動装置の起動性能の確保を主な目標とした。また、開発するギヤ油のこれまでの温度域での性能は、現行ギヤ油と同等以上とすることとした。また、当社で開発を進めている新幹線の高速走行(360km/h)にも対応することに加えて、

現行ギヤ油からのコスト増加を抑えることとした。以上をまとめて、次の3点を目標とした。

- (1) これまでの温度域での性能は現行ギヤ油と同等以上にするとともに、-30℃で安定した起動性能を発揮すること。
- (2) 新幹線の高速走行(360km/h)に対応すること。
- (3) 現行ギヤ油からのコスト増加を抑制すること。

2.2 開発ギヤ油概要

開発したギヤ油（以下、開発ギヤ油）の基油は、現行ギヤ油（グループⅠ鉱油）よりも粘度指数の向上及び流動点の低下が期待できるグループⅢ鉱油（高度精製鉱油）を主体とした。当初は、低温流動性や熱安定性に優れたグループⅣ・Ⅴ合成油（PAO（ポリ- α -オレフィン）等）を含めることを検討していたが、コスト面でより有利なグループⅢ鉱油（高度精製鉱油）を主とした基油にした場合でも、必要な低温流動性が確保できる見通しが立ったためである。また、粘度指数向上や低摩擦化に寄与する添加剤を配合するなど添加剤の再検討を行い、開発ギヤ油を試作した²⁾。開発ギヤ油と現行ギヤ油、および過去に（公財）鉄道総合技術研究所によって開発されたグループⅣ・Ⅴ基油を用いた高速新幹線用合成ギヤ油³⁾（以下、既開発ギヤ油）の組成・コスト比較を表1に示す。

表1 ギヤ油の組成・コスト

ギヤ油種別		開発ギヤ油	現行ギヤ油	既開発ギヤ油	
		組成	組成	組成	
組成	基油（グループ分類）	鉱油（Ⅲ）	鉱油（Ⅰ）	合成油（PAO）（Ⅳ）	
	添加剤配合	粘度指数向上剤	あり	なし	なし
		摩擦低減剤	モリブデン系	なし	なし
	流動点降下剤	あり	あり	なし	
コスト		中	低	高	

2.3 開発ギヤ油の性状試験

開発ギヤ油、現行ギヤ油の性状試験結果について表2に示す。低温流動性が大幅に向上していることがわかる。また、図2に示すように現行ギヤ油と比較して、攪拌酸化劣化試験後の全酸価増加値が低く、酸化安定性が向上していることから、潤滑性能が同等またはそれ以上であることを、それぞれ試験により確認した。

表2 ギヤ油の性状試験結果

性状	開発ギヤ油	現行ギヤ油
粘度指数 ^{*1}	154	105
ブルックフィールド ^{*2} 粘度 (-20℃) [mPa·s]	2600	10900
流動点 [℃] ^{*3}	-40.0	-32.5

*1…温度による粘度変化の指標。値が大きいかほど温度低下による粘度上昇が少ない
 *2…0℃以下の粘度測定方法
 *3…油が流動性を保つ最低の温度

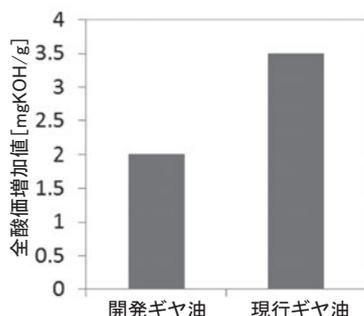


図2 攪拌酸化劣化試験後の全酸価増加値^{*4}
 *4…熱影響による酸化劣化生成物の増加値

3. 開発ギヤ油の各種試験実施

3.1 低温起動性能試験の概要

開発ギヤ油について、実際の歯車装置においても十分な低温流動性を有するかを確認するため、低温条件下からの起動時における軸受の温度上昇により判断する低温起動性能試験を実施した。この試験に使用した装置の概要について図3に示す。

この試験装置は、実車の駆動装置を、-30℃の恒温室中に設置した駆動用モータから駆動ベルトを介し、小歯車軸からの駆動により回転させるものである。試験では、駆動装置を実車と同等の加速度で最高速度 (320km/h・360km/h) まで速度を上げ、軸受の温度を測定した。

この試験においては、軸受外輪において潤滑不良が原因とみられる異常な温度上昇を確認した場合、起動不良と判断する。

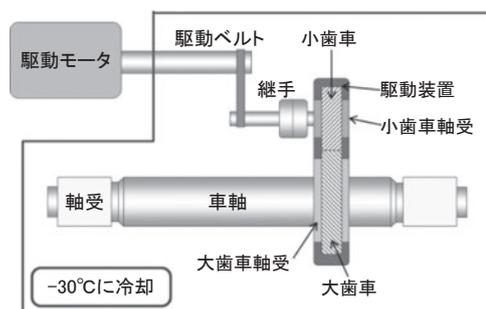


図3 低温起動性能試験装置の概要

3.2 低温起動性能試験の結果

低温起動性能試験は、現行ギヤ油、既開発ギヤ油を含めて3種類行った。表3に試験の結果を示す。

現行ギヤ油では、最高速度320km/hの試験条件において、起動不良と判断される温度上昇を確認したため、これ以上の速度条件での試験は実施しなかった。一方、開発ギヤ油では最高速度320km/h、360km/hの試験条件において異常な温度上昇は確認できなかった。

また、最高速度360km/hの試験条件において開発ギヤ油の低温起動性能は既開発ギヤ油と遜色ないものであった。

以上の結果から、開発ギヤ油は-30℃に冷却した実車駆動装置中でも良好な流動性を保っており、-30℃で安定した起動性能を発揮するという目標を達成していることが確認できた。

表3 低温起動性能試験

試験条件 最高速度	320km/h相当	360km/h相当
開発ギヤ油	◎	◎
現行ギヤ油	× 小歯車軸受輪側 温度上昇大	(試験実施せず)
既開発ギヤ油	(試験実施せず)	◎

3.3 台上回転試験の概要

開発ギヤ油について、実台車で使用した場合における耐久性・耐荷重性・酸化安定性能・潤滑性能等を評価するため、当社が保有する台車試験装置を使用した台上回転試験を実施した。台上回転試験装置の外観を図4に示す。供試台車の駆動装置 (図5) に、開発ギヤ油を適用し、実軌道と同等の振動を加えた。

台上回転試験では、大宮-新青森間の営業走行と同等の条件を想定し、停車駅を設け、駅停車時における加減速・停止以外は360km/hの走行条件とした。累積走行距離は62,324kmとなった。

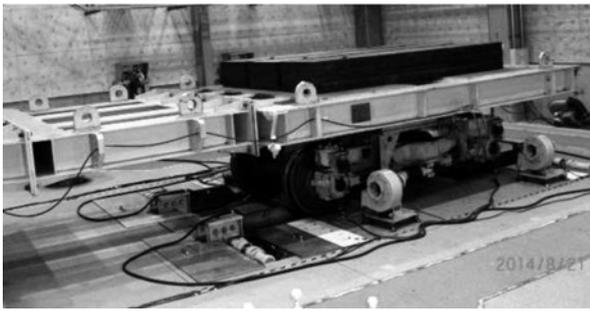


図4 台上回転試験装置の外観



図5 台上回転試験装置(駆動装置)

3.4 台上回転試験結果

試験走行距離23,313km、39,011km、62,324km時点で、開発ギヤ油を採取し、動粘度、溶剤不溶分(ヘプタン)、摩耗金属分(鉄分)および全酸価増加値の測定を行い、推移を確認した。

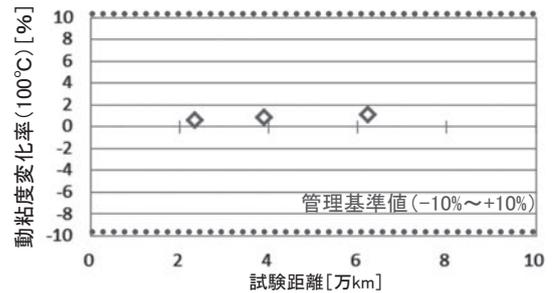
評価項目を表4、評価結果を図6に示す。

表4 評価項目

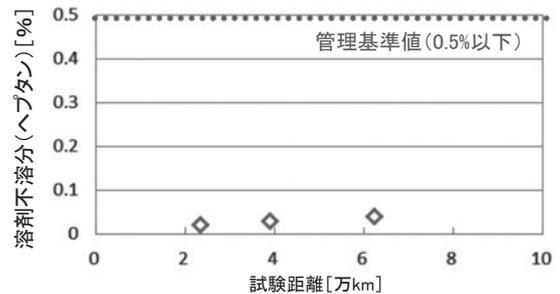
評価項目	評価方法	備考
新油からの動粘度変化	動粘度変化率	酸化劣化等による粘度上昇、せん断等による粘度低下の有無を確認
スラッジ(劣化生成物)等の評価	溶剤(ヘプタン)不溶分	スラッジ(潤滑油の劣化生成物)、金属摩耗分、塵埃)の比率を測定
金属分含有量	摩耗金属分(鉄分)	軸受摩耗等による金属分の程度を確認
熱影響による酸化劣化の評価	全酸価増加値	熱影響による酸化劣化の度合いを評価

いずれの項目においても顕著な劣化は確認されなかった。また、新幹線ギヤ油の管理基準値に対し大幅に余裕があることがわかった。このほか、40℃における動粘度、および粘度指数についても、未使用油からの顕著な変化は見られなかった。さらに、試験後の駆動装置について歯車歯面、歯車箱内部を観察し、異常の見られないことを確認した(図7)。

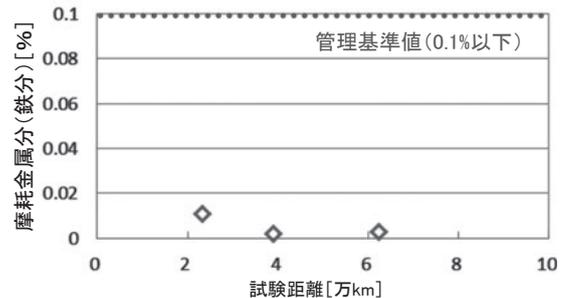
以上から、歯車装置、開発ギヤ油とも台上回転試験(360km/h運転、走行距離6万km)後の状態は良好であることがわかった。



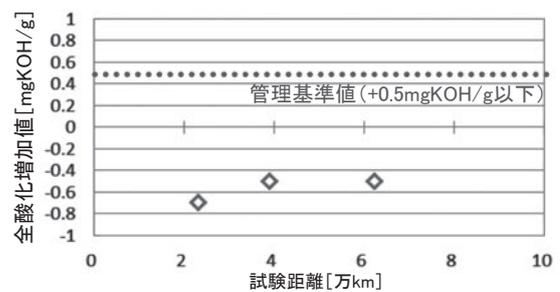
(a) 動粘度変化率(100°C)



(b) 溶剤不溶分(ヘプタン)



(c) 摩耗金属分(鉄分)



(d) 全酸化増加値

図6 台上回転試験後の開発ギヤ油の分析結果
(試験走行距離23,313km・39,011kmはNo.1軸、62,324kmはNo.2軸結果)

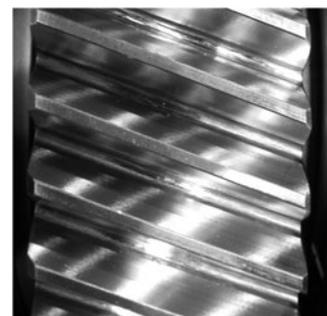


図7 台上回転試験後の駆動装置歯車歯面

4. 現車試験

各種試験結果が良好だったことから、現在最終的な確認として、現車を用いた耐久試験を開始している。

現車試験では、営業車両に開発したギヤ油を適用し、台車検査周期に相当する期間走らせ、採油・分析を期間中適宜行い、経過を観察しながら適応性、熱・荷重等に対する長期的な耐久性を評価する。現車試験は2018年6月頃に終了予定である。

5. おわりに

現行より厳冬環境での走行を想定し、低温環境下における駆動装置の起動性能の確保を主な目標とし、ギヤ油の開発を行った。

具体的には、以下の3点を目標とした。

- ・これまでの温度域での性能は現行ギヤ油と同等以上にするとともに、-30℃で安定した起動性能を発揮すること。
- ・新幹線の高速走行(360km/h)に対応すること。
- ・現行ギヤ油からのコスト増加を抑制すること。

その結果、高度精製鈹油(グループIII)を主とした基油とし、粘度指数向上剤の添加などにより、現行ギヤ油からのコスト増を最小限に抑えながら優れた低温流動性・潤滑性能を有する開発ギヤ油を開発することができた。さらに、この開発ギヤ油について各種性能試験・台上回転試験(360km/h運転)を実施した結果、良好な試験結果を得ることができた。

今後は、現在実施中の現車試験により適応性・耐久性の最終確認を行い、営業車両への導入を目指していきたい。

参考文献

- 1) 木川定之 他5名; 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, No92, pp.35~40, 2014.2.
- 2) 鉄道総合技術研究所材料技術研究部潤滑材料; 低温起動性能を向上させた新幹線車両用ギヤ油, 鉄道総研技術フォーラム, 2015.8.
- 3) 中村和夫 他2名, 高速化, 省メンテナンス化に寄与する合成ギヤ油, RRR, Vol.55, No7, pp.18~21, 1998.7.