

在来線電車用長寿命ギヤ油の開発

材料技術研究部 潤滑材料研究室

研究員 木川 定之

1. はじめに

電車用歯車装置に用いられ、歯車かみ合い部、大歯車軸受および小歯車軸受を潤滑しているギヤ油は、現在多くの場合全般検査時と重要部検査時、もしくは相当する定期検査時に交換されており、使用される走行距離は概ね最大 60 万 km である。歯車装置は解体を行わなくても油面計の目視観察、および磁気栓への摩耗粉の付着状況からギヤ油と内部の状況を把握できる可能性がある。そのため、ギヤ油が現在の検査周期の 2 倍、すなわち 120 万 km の走行が可能な耐久性を有していれば、60 万 km 時点での交換が不要となり、歯車装置のメンテナンス軽減を進めることができる。そこで、非交換で 120 万 km 走行可能な耐久性を有するギヤ油の開発を行った。

2. 現行ギヤ油の分析による劣化因子の把握

開発にあたり現在使用されているギヤ油（現行ギヤ油）の劣化の状況を把握するため、在来線電車にて 18～58 万 km 使用した現行ギヤ油を採取、分析した。動粘度（JIS K 2283）の変化率、酸価（JIS K 2501）の増加値、ヘプタン不溶分（ASTM D893 に相当）、水分（JIS K 2275）の測定を行い、鉄道総研が提案する管理基準値¹⁾と比較、評価した。その結果、動粘度変化率、不溶分、水分は問題のない値であったが、図 1 に示す酸価は 40～60 万 km で減少から増加に転じる傾向を示し、120 万 km 使用では管理基準値である +0.5mgKOH/g を超過する可能性があり、開発ギヤ油では現行ギヤ油と比較して酸化安定性を向上させる必要があることがわかった。

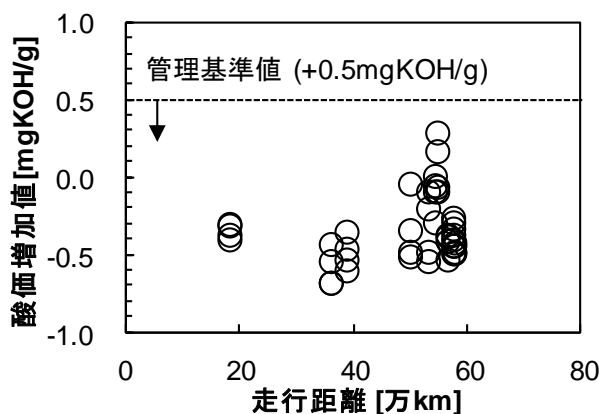


図 1 在来線電車で使用した現行ギヤ油の酸価増加値

3. ギヤ油の試作と評価

3.1 基油の選定

基油としては、鉱油と比較して酸化安定性に優れること、低温での流動性が良好であること、および過去に高速新幹線用ギヤ油や車軸軸受油において検討実績がある^{2),3)}ことから、化学合成油であるポリ α オレフィン（PAO）を用いることとした。本開発では、低温環境下で流動性をより向上させるため、合成時にメタロセン触媒を用いており、温度による粘度変化が従来の PAO

よりさらに小さい⁴⁾特殊な PAO を用いた。また、合成油は一般に鉱油と比較して高価であることから、鉱油系基油の一部を PAO に置き換えた混合基油（以下、PAO 混合基油）を使用することとし、開発ギヤ油のコスト上昇を抑制した。

3.2 酸化安定度試験の条件決定

PAO 混合基油を用いたギヤ油について酸化安定性を評価するために、現車 120 万 km 走行相当の酸価劣化の状態を再現する酸化安定度試験（ISOT：JIS K 2514 に規定される内燃機関用潤滑油酸化安定度試験）の試験条件を検討した。本開発では試験温度を 135℃とし、試験時間については、現行ギヤ油において添加剤に由来する塩基価が使用によって減少する⁵⁾ことから、現車から採取した現行ギヤ油と酸化安定度試験後の現行ギヤ油の塩基価を比較することにより決定した。

現車使用現行ギヤ油の走行距離と塩基価を図 2(a)、ISOT（135℃）後の現行ギヤ油における試験時間と塩基価を図 2(b)に示す。これらを比較すると、現車で 57 万 km 走行したときの塩基価 1.4mgKOH/g が、ISOT（135℃）を 42 時間行ったものの塩基価に相当することがわかる。この関係より、ISOT（135℃）を 96 時間行くと、現車では現在の更油周期の 2 倍以上である 130 万 km 走行に相当することが導かれる。この結果より、開発ギヤ油においては 135℃、96 時間の ISOT にて酸化安定性を評価することとした。

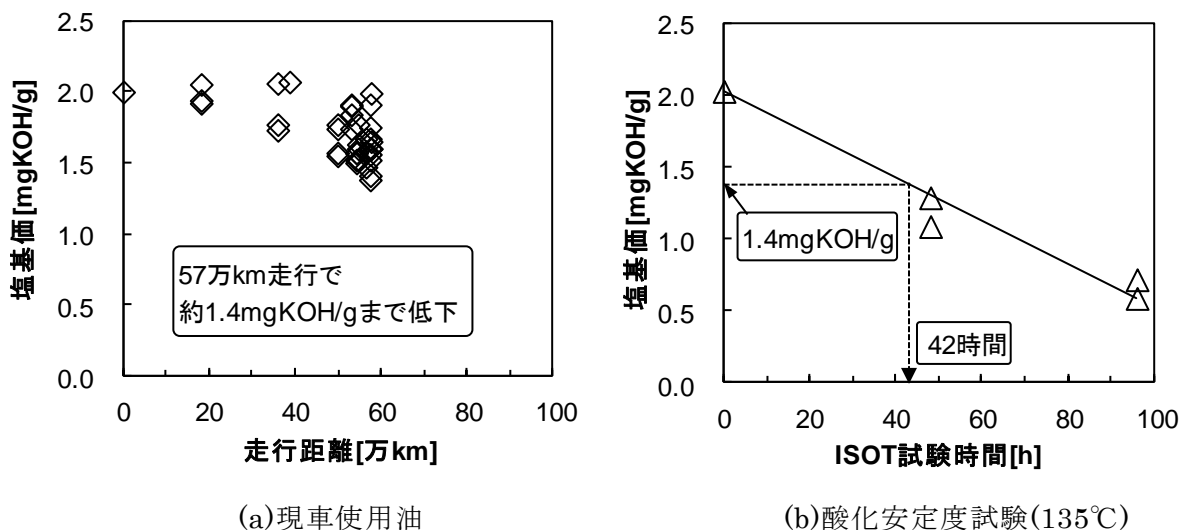


図 2 現車使用ギヤ油と酸化安定度試験後ギヤ油の塩基価の比較（現行ギヤ油）

3.3 酸化安定性の評価

基油を PAO 混合基油としたときの酸化安定性を確認するため、PAO 混合基油に現行ギヤ油と同じ添加剤を処方した試作油（以下、開発油 A）について酸化安定度試験（ISOT, 135℃, 96 時間）を行い、酸価増加値を比較した。結果を図 3 (a)に示す。開発油 A の酸価増加は現行ギヤ油と比較して抑えられており、基油の変更によって酸化安定性が改善することが確認された。

さらに酸化安定性を向上させるため添加剤の検討を行い、清浄分散剤と呼ばれる酸化劣化生成物を抑制、分散する添加剤を増量した試作油（以下、開発油 B）について同様の試験を行った。結果を図 3 (b)に示す。開発油 B では、開発油 A と比較して酸価増加値がさらに抑えられ、0.5 mgKOH/g 程度となった。試験後のビーカ内壁についても、開発油 A では若干のラッカー（酸化劣化生成物による汚れ）が認められたのに対し、開発油 B では清浄であった。また、開発油 B の

試験後の塩基価，動粘度，ヘプタン不溶分については，現行ギヤ油より良好な値であった。
 以上の結果から，開発油 B を開発ギヤ油として選定することとした。

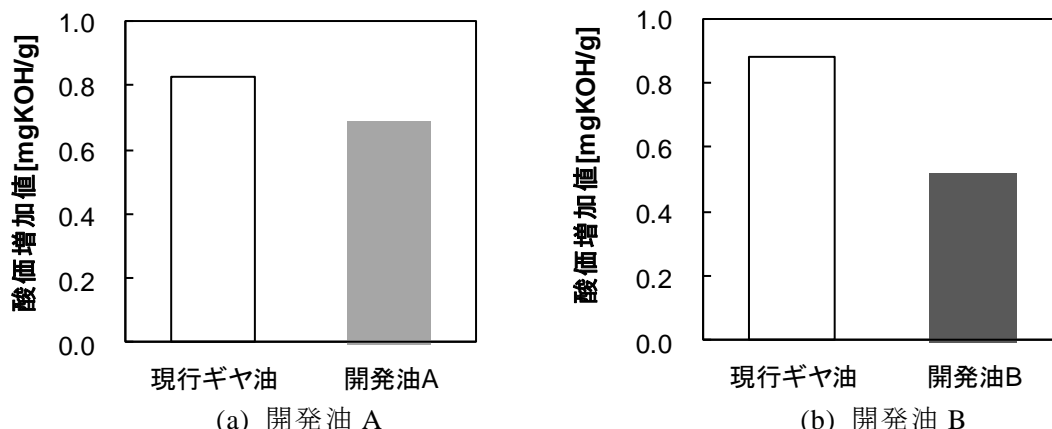


図 3 現行ギヤ油と PAO 混合基油を使用した試作油との酸化安定性の比較

3.4 潤滑性能

開発油 B の潤滑性能について，耐荷重性能，耐摩耗性能を評価するためシェル式四球試験機による耐荷重性 (ASTM D2783)，耐摩耗性 (ASTM D2266) 試験を，歯車かみ合い部の耐荷重性能を評価するため IAE 歯車試験機 (IP166/68) を用いた歯車試験を行った。

四球試験における非焼付き最大荷重を図 4(a)，歯車試験におけるスカuffing 荷重 (歯面損傷が発生する荷重) を図 4(b) に示す。これらの結果から，開発油 B は現行ギヤ油と同等以上の耐荷重性を持つことを確認した。また耐摩耗性についても，四球試験の結果から現行ギヤ油と同等以上であることを確認した。

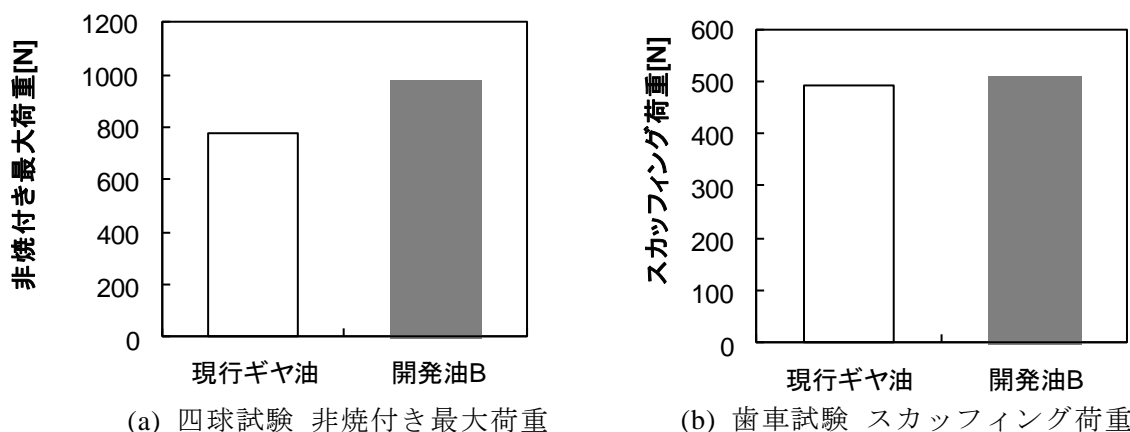


図 4 四球試験，歯車試験における耐荷重性試験結果

4. 開発ギヤ油の代表性状

開発油 B の粘度・低温流動性等の代表性状を表 1 に示す。開発油 B の性能，性状は全て仕様目標を満たしていることを確認した。また，流動点 (潤滑油が流動性を示す最低の温度) が -47.5°C と現行ギヤ油の -37.5°C と比較して低くなっていること， 40°C での動粘度， -26°C での粘度が現行ギヤ油と比較して小さいことから，低温下での流動性が改善されていることを確認した。

表1 開発ギヤ油の代表性状

	仕様目標	開発油 B	現行ギヤ油
基油	PAOと高度精製鉱油の混合	PAO 40% 鉱油 60%	鉱油 100%
動粘度[mm ² /s] (JIS K 2283)	SAE80W90	40°C:103 100°C:16.3	40°C:158 100°C:17.7
粘度指数	130 以上	171	124
-26°C ブルックフィールド粘度 [mPa・s]	—	14400	99800
流動点[°C] (JIS K 2269)	-40 以下	-47.5	-37.5
せん断安定性試験 (ASTM D2603) 動粘度低下率(100°C)[%]	現行ギヤ油と同等以下	0.3	2.4
あわ立ち性試験 (JIS K 2518)			
24°C[ml]	100 以下	10	5
93.5°C[ml]	100 以下	35	15
93.5°C後の 24°C[ml]	100 以下	10	5

5. おわりに

開発ギヤ油は、PAO 混合基油の使用、添加剤の再検討によって酸化安定性をはじめとした性能を向上させることにより、在来線電管用ギヤ油の更油周期 120 万 km への延伸に適切なコストで対応可能となる見込みを得た。よって、開発ギヤ油は歯車装置の保守軽減に資することができると考えられる。

本開発は、出光興産株式会社との共同研究により実施した。

参考文献

- 1) 鈴木：車両用潤滑油，トライボロジスト，**35**, No.2 (1990) pp.101-106
- 2) 中村，鈴木，曾根：高速化，省メンテナンス化に寄与する合成ギヤ油，RRR，**55**, 7 (1998) pp. 18-21
- 3) 中村，細谷，日比野，鈴木，設楽，平野：新幹線車両用合成系車軸軸受油の開発，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 J-Rail，**16** (2009) pp. 185-189
- 4) 岡田，藤川：高機能ポリアルファオレフィン(PAO)の開発と適用，月刊トライボロジー，**268** (2009) pp. 20-21
- 5) 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) pp. 812-816