

ギヤ油の油量が電車用歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響 —性状の異なるギヤ油での比較

Influence of Gear Oil Quantity on Energy Loss for Gear Unit of Trains
-Effects of Gear Oil Properties

鉄道総研 (正) *木川 定之 (正) 高橋 研

Sadayuki Kikawa, Ken Takahashi

Railway Technical Research Institute

1. はじめに

歯車装置は、電車の走り装置において、駆動用電動機である主電動機の駆動力を輪軸に伝える。この歯車装置の潤滑剤として用いられるギヤ油は、小歯車（主電動機軸側の歯車）と大歯車（車軸側の歯車）のかみ合い部の潤滑を担っている（Fig. 1）。また、回転する大歯車によるギヤ油のはねかけにより、それぞれの歯車軸に取り付けられている軸受の潤滑にも寄与している。この歯車装置で生じるエネルギー損失には、油だまりの中を大歯車が回転することで生じるかくはん抵抗など、ギヤ油に起因するものがあり、ギヤ油の性状や使用状況がエネルギー損失に与える影響は大きいと考えられる。既報¹⁾では、SAE 粘度#90 のギヤ油を使用した場合において、油量が歯車装置のエネルギー損失に与える影響について検討した。本講演では異なるギヤ油で同様の試験を行い、比較した結果を発表する。

2. 試験方法

2.1 試験装置

試験に用いた歯車装置回転試験機は Fig. 2²⁾に示すように、実物の歯車装置の小歯車軸を、フランジ型たわみ軸継手を介してモータで回転させる構造である。歯車装置は実車両と同様に車軸に取り付けられ、その車軸軸受部と歯車箱吊り装置によって支持される。本試験で使用した歯車装置は在来線電車用で、歯車は小歯車が左ねじれ、大歯車が右ねじれのそれぞれはすば歯車、歯数は小歯車 20、大歯車 79（歯車比 3.95）である。小歯車軸受は小歯車軸の軸端側（PW 側）、モータ側（PM 側）に単列円すいころ軸受がそれぞれ 1 個、大歯車軸受は大歯車のモータ側（GM 側）に複列円すいころ軸受が取り付けられている。モータは定格出力 22kW（定格回転数：6000min⁻¹）の同期電動機を用いている。

試験中は小歯車軸受外輪、ギヤ油（排油栓部で測定）、歯車箱表面（PW 側軸受ふたの近傍で測定）、支持軸受の温度および雰囲気温度をそれぞれ熱電対で、小歯車軸 PW 側軸端の温度を小型温度ロガーで測定する。小歯車軸の回転数は光電式回転検出器により検出し、回転トルクはインバータ電流値から演算された値をアナログ信号で取得する。

2.2 試験条件

ギヤ油の性状を Table 1 に示す。Oil A は既報¹⁾の試験で使用した SAE 粘度#90 のギヤ油である。Oil B は Group III 鉻油を主とした基油の使用、粘度指数向上剤の配合などにより低温流動性を向上した SAE 粘度#80W のギヤ油である。試験条件を Table 2 に示す。油量は歯車装置油面計上の油量上限である 3.6L、下限である 2.8L およびその中間の 3.2L の 3 条件とした。回転パターンは Fig. 3 に示すように、停止から最高回転数（3322min⁻¹、供試歯車装置を使用する車両で 130km/h 走行相当）まで 90 秒で加速し、その後最高回転数にて 7200 秒連続で運転することとした。各条件とも正転（Fig. 1 の回転方向）と逆転（Fig. 1 の回転と逆方向）で試験を実施した。

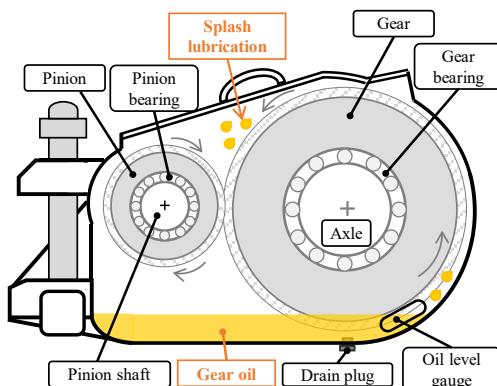


Fig. 1 Schematic view of gear unit for electric trains

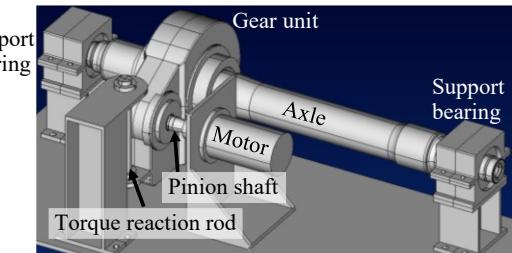


Fig. 2 Test rig of a gear unit²⁾

Table 1 Gear oil properties

	Oil A	Oil B	
Base oil type	Group I	Group III	
Viscosity index improver	-	✓	
Mo-type friction modifier	-	✓	
Kinematic viscosity, mm ² s ⁻¹	100°C 40°C	16.98 182.6	9.201 53.32
Viscosity index	99	156	

Table 2 Test Conditions

Oil quantity, L	Upper:3.6 Medium:3.2 Lower:2.8
Environment temperature, °C	20~25
End play of pinion bearing, mm	0.12

3. 試験結果と考察

試験中の回転トルクの推移を Fig. 4 に示す。正転より逆転のトルクが大きいこと、また油量が多いほどトルクが大きくなることについては、Oil A, Oil B とも一致している。

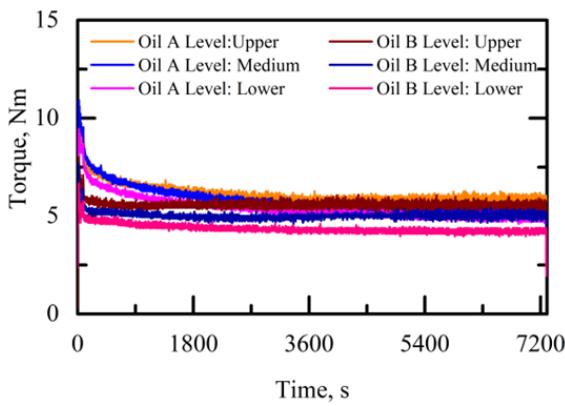
Oil B 使用時のトルクを Oil A 使用時と比較すると、油量下限でのトルクは、逆転の 5400 秒以降では Oil A 使用時のトルクに近い値となるが、全領域で Oil A 使用時のトルクより低い。一方、油量中間、油量上限での Oil B 使用時のトルクは、運転開始直後は Oil A 使用時のトルクと比較して低い値であるが、正転で概ね 3600~5400 秒近辺、逆転で概ね 1800~3600 秒近辺から、Oil A 使用時と同程度となる。また、逆転で油量上限の条件では、Oil B 使用時に 4500 秒近辺から顕著なトルクの増加が生じている。なお、Oil B 使用時の各部の温度上昇においても、トルクと同様の傾向が見られる。

油温から計算した動粘度に対するトルクの推移を Fig. 5 に示す。動粘度が $100\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ 以上の範囲では、正転、逆転とも動粘度の低下とともにトルクが減少する傾向にあるが、 $100\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ 以下では正転で油量下限の条件を除き、横ばいから上昇に転じる。これより、油量中間、上限では、温度上昇による動粘度の低下がトルクの増大に関与している可能性が考えられる。

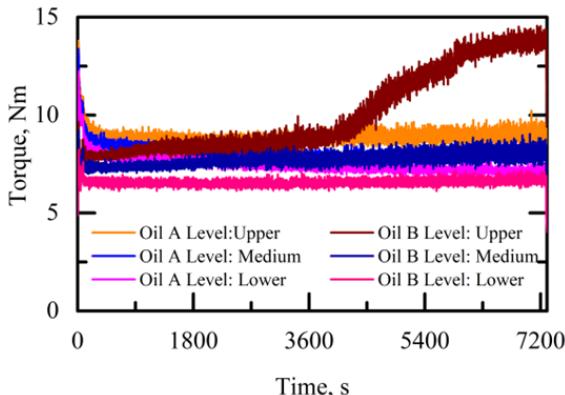
以上の結果から、Oil B 使用時において、Oil A 使用時と比較して動粘度が低いことによると思われる回転抵抗の減少が見られること、一方で油量中間、上限とすると試験中に回転抵抗の増大が発生することがそれぞれ認められる。油量中間、上限で回転抵抗が増大する要因のひとつとしては、動粘度が低下したことにより、軸受部などに供給される油量が過剰になったことが考えられる。

文献

- 1) 木川・高橋：ギヤ油の油量が電車用歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響、トライボロジー会議 2022 秋 福井 予稿集, D10 (2022).
- 2) 高橋・鈴木・永友：軸受形式の違いが鉄道車両歯車装置用軸受の性能に与える影響、日本機械学会論文集, 88, 911 (2022).



(a) Normal rotation



(b) Reverse rotation

Fig. 4 Dependence of running torque on oil level

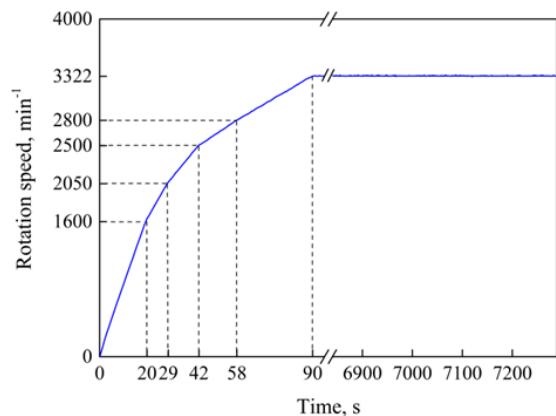
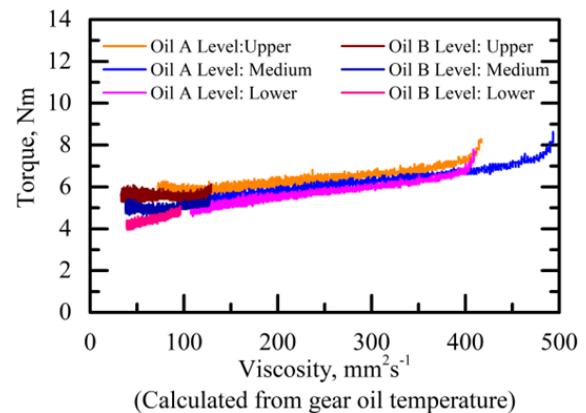
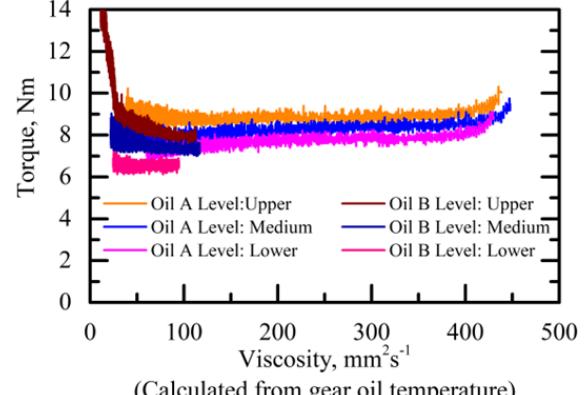


Fig. 3 Rotational pattern



(a) Normal rotation



(b) Reverse rotation

Fig. 5 Dependence of running torque on calculated kinematic viscosity