

ギヤ油が歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響の評価

木川 定之* 高橋 研 (鉄道総合技術研究所)

Influence evaluation of Gear Oil on Energy Loss for Gear Unit of Trains

Sadayuki Kikawa*, Ken Takahashi, (Railway Technical Research Institute)

We evaluated the influence of the gear oil level on energy loss for gear unit of trains. More amount of gear oil causes more temperature increase and rotating torque under continuous run on 3322min^{-1} rotation speed of pinion. Although rotation torque is almost the same between upper, medium, and lower oil levels under lower rotation speed. Thus, energy loss caused by overmuch oil levels may have occurred under high rotation speed.

キーワード：歯車装置，ギヤ油，回転試験，エネルギー損失
(Gearbox, Gear Oil, Rotational Test, Energy Loss)

1. はじめに

電車の走り装置において、歯車装置は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（図 1 参照）。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、歯車箱底部の油だまり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。本講演では、ギヤ油の油量および回転速度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結果を発表する。

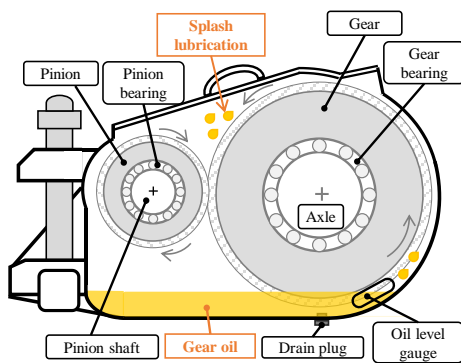


図 1 電车用歯車装置（正転）とギヤ油

Fig. 1. Schematic view of gear unit for electric trains
(Normal rotation).

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（図 2 参照）は、実物の歯車装置の小歯車軸を、軸継手（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车用のもので、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）、歯車箱（PW 側軸受ふた近傍）、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

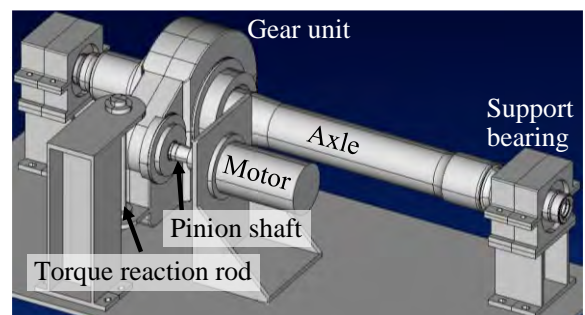


図 2 歯車装置回転試験機⁽¹⁾

Fig. 2. Test rig of a gear unit.⁽¹⁾

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。また、PM 側、PW 側それぞれの軸受ふたに圧電式加速度計を取り付けてそれぞれの振動加速度を測定する。

〈2・2〉 試験条件 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。ギヤ油は供試歯車装置を搭載する車両で用いられている SAE 粘度#90 のギヤ油を使用した (表 1 参照)。

回転パターンは、停止から最高回転数 (3322min⁻¹、供試歯車装置を使用する車両における 130km/h 走行に相当) まで 90 秒で加速して、最高回転数にて 7200 秒連続で運転し、その後減速して回転速度 2556min⁻¹ (100km/h 走行相当)、1917min⁻¹ (75km/h 走行相当)、1278min⁻¹ (50km/h 走行相当)、639min⁻¹ (25km/h 走行相当) の順でそれぞれ 900 秒間定速回転させるパターンとした (図 3 参照)。各条件とも正転 (図 1 の回転方向) と逆転 (図 1 の回転と逆方向) それぞれで試験を実施した。

3. 試験結果

〈3・1〉 温度上昇 小歯車軸軸端温度および油温の経過を、実測した温度から雰囲気温度を差し引いた温度上昇値として、(a) 正転と (b) 逆転に分けて示す (図 4 参照)。いずれの条件においても正転に比べて逆転の温度上昇が大きい傾向が認められる。また、油量による温度上昇の差は開始直後には見られず、600 秒以降からその差が広がる。

表 1 試験条件

Table 1. Test conditions.

Oil level, L	Upper:3.6 Medium:3.2 Lower:2.8
Viscosity of gear oil, mm ² /s	182.6 (40°C) 16.98 (100°C)
Viscosity index of gear oil	99
Environment temperature, °C	20
End play of pinion bearing, mm	0.12

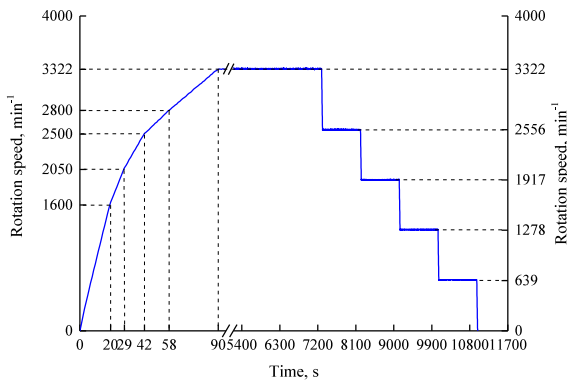
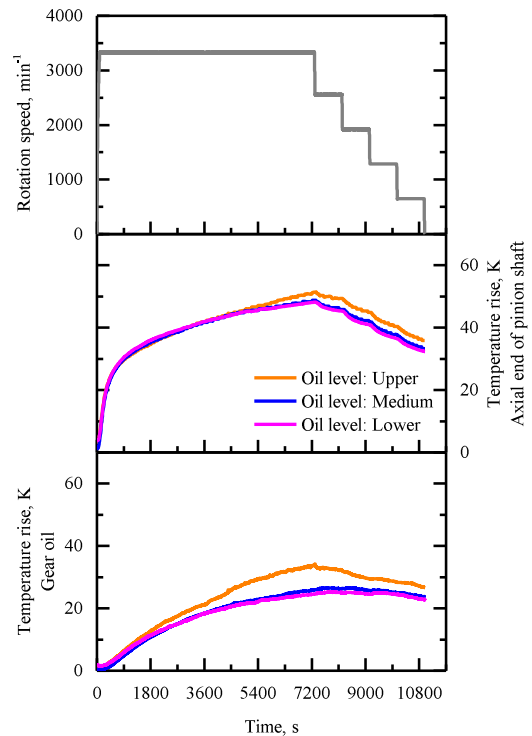


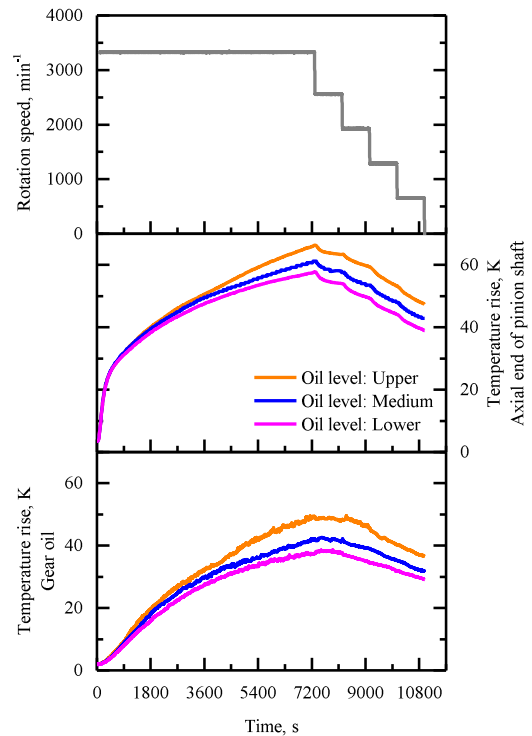
図 3 本試験における回転パターン

Fig. 3. Rotational pattern.



(a) 正転

(a) Normal rotation



(b) 逆転

(b) Reverse rotation

図 4 油量による温度上昇の変化

Fig. 4. Dependence of temperature rise on oil level

小歯車軸軸端の温度は、最高回転数で運転する間は上昇し続け、その後回転数の低下に伴い低下している。温度上昇は油量が多いほど大きくなる傾向にある。また、油量下限と油量中間の温度上昇の差と比較して、油量中間と油量上限の温度上昇の差が大きいことが認められる。

油温は小歯車軸軸端と比較してやや遅れて上昇しており、回転数低下に伴う低下もやや遅れて生じている。温度上昇は油量が多いほど大きくなる傾向にあるが、油量上限での温度上昇と油量下限、油量中間の温度上昇との差が、小

歯車軸軸端と比較して、特に正転の場合において大きくなっている。

〈3・2〉 回転トルク 回転速度 3322min^{-1} で連続運転した $0\sim 7300\text{s}$ の区間におけるトルク (図 5 参照) は、加速段階で増加したのち定速回転になると低下し、(a) に示す正転では $900\sim 1800$ 秒、(b) に示す逆転では $300\sim 600$ 秒で低下の度合いが緩やかになる。また、全体を通して正転より逆転のトルクが大きい。油量によるトルクの変化に注目すると、正転、逆転とも油量が多いほどトルクが増加する傾向にある。

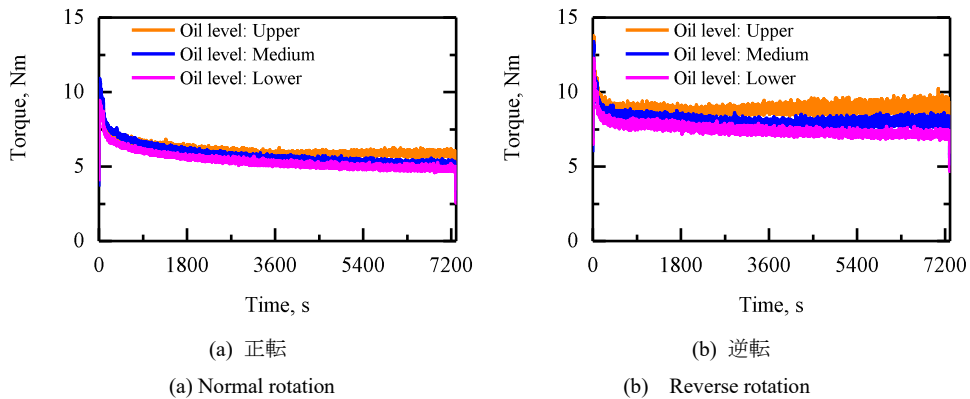


図 5 小歯車軸回転速度 3322min^{-1} で連続運転したときの油量による回転トルクの変化
Fig. 5. Dependence of rotation torque on oil level under 3322min^{-1} rotation speed of pinion.

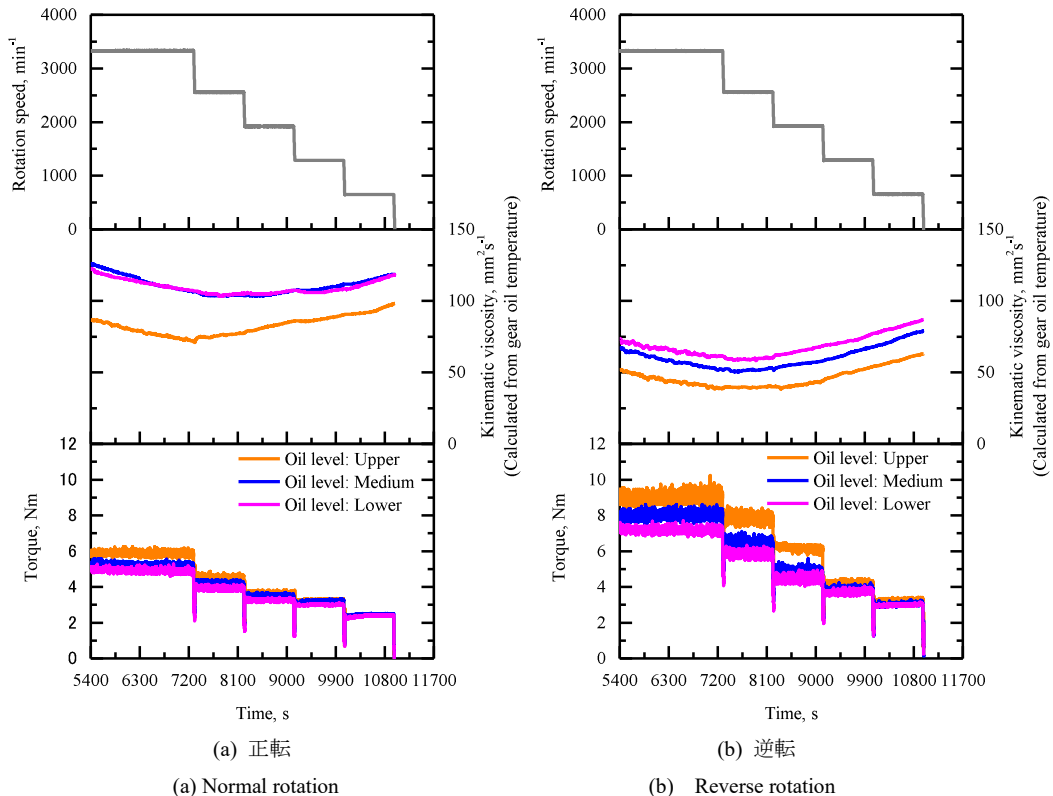


図 6 小歯車軸回転速度を変化させたときの油量による回転トルクの変化
Fig. 6. Dependence of rotation torque on oil level under changing rotation speed of pinion.

また、温度上昇ほど顕著ではないが、油量下限と中間の差と比較して、油量中間と上限の差が大きい。さらに、運転開始から時間が経過し、各部の温度および油温が上がっても、油量毎のトルクの大小が逆転することはなく、その差にも顕著な変化は見られない。

一方、回転速度 3322min^{-1} で連続運転したのち速度を低下させた $5400\sim 10900\text{s}$ の区間におけるトルク (図 6 参照) を見ると、回転速度が高い領域では油量が多いほどトルクが大きく、特に油量上限でのトルクが油量中間、下限でのトルクと比較して高いが、正転では回転速度 1917min^{-1} 、逆転では回転速度 1278min^{-1} 以下となると、油量による差はほぼ現れなくなる。しかし、油量によるトルクの差が見られなくなる回転速度においては、ASTM-Walther 式を用いて油温から計算した動粘度 (図 6 中段) を見ると、油量上限での動粘度は低い。

4. 考察

3 章で示した温度上昇値および回転トルクの測定結果から、油量が多いほど回転抵抗が増大する傾向にあると推定される。また、回転速度を低下させると油量によるトルクの差が見られなくなることから、油量を増加させることによるトルクの増大は、主に高回転域で影響が大きいと考えられる。

低回転域では油量上限の条件における油温が高い (動粘度が低い) にもかかわらず、油量によるトルクの差が少ないことから、油量上限の条件では、油温の上昇 (動粘度の低下) に伴うトルク低減と、油量の増加によるトルク増大の両方の影響が現れていると考えられる。

文 献

- (1) 高橋研・鈴木大輔・永友貴史:「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, Vol.88, No.911 p.22-00126 (2022).