

高速歯車装置の潤滑油攪拌損失の実験的評価

Experimental Evaluation of Lubricant Churning Loss in High-Speed Gear System

三菱重工業（正）*西浦 謙佑 三菱重工業（非）正田 功彦 三菱重工業（非）田中 慎吾
三菱重工業（非）奥蘭 昌光 三菱重工業（非）藤井 雅也 三菱重工業（非）渡部 将光

Kensuke Nishiura, Katsuhiko Shoda, Shingo Tanaka

Masamitsu Okuzono, Masaya Fujii, Masamitsu Watanabe

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1. はじめに

近年、歯車装置においては高速回転化，高周速化のニーズが高まっている．歯車周速が増加するにつれて，歯車損失としては減速機内の潤滑油および空気が高速でかき混ぜられることによる損失（以下，攪拌損失と記載）が占める割合が大きくなり，歯車周速が増加するにつれて，攪拌損失は急激に増加する¹⁾．高速歯車装置の実現のためには，攪拌損失の低減と歯車，軸受等の機械要素への適切な冷却が必要となるが，現状では両者を考慮した設計技術は整備されておらず，高周速条件や高速回転条件での試験データも少ない．そこで本稿では，回転数と潤滑油給油量をパラメータとした歯車運転試験を行い，給油量と歯車回転速度が損失や歯車箱温度に及ぼす影響を評価した結果について報告する．

2. 減速機仕様

減速機の外観図を Fig.1 に，歯車諸元を Table 1 に示す．減速機は 2 段減速となり，入力歯車軸，中間歯車軸，出力歯車軸で構成される．減速機の小型化設計を目的として動力分岐を行っており，中間歯車軸は，入・出力歯車軸の周囲に 90° ピッチで 4 本配置される．潤滑油は，各歯車のかみ合い部と，軸を支持している転がり軸受に対してジェット潤滑により給油を行い，減速機中央部の上下に設けられた穴から潤滑油およびオイルミストの排出が行われる．なお減速機下部に設けられた排油穴は排油ポンプと接続される．また減速機の入・出力歯車軸の軸端では，油漏れを防止するためにシール空気が供給される．

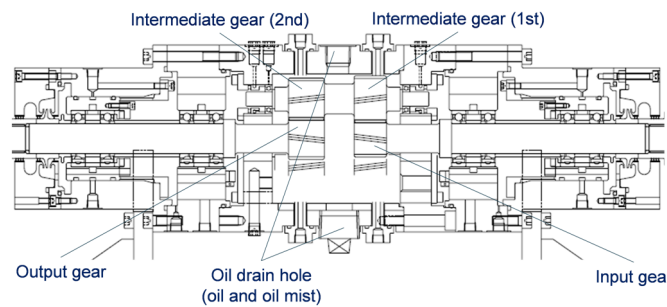


Fig. 1 Appearance diagram of gearbox

Table 1 Test gear specification

Item	1st	2nd
Module	1.0	1.0
Pressure angle, °	20	20
Helix angle, °	6.75	6.00
Number of teeth	28 / 36	32 / 32
Profile shift coefficient	0.400 / 0.441	0.468 / 0.428
Center distance, mm	33.0	33.0

3. 試験方法

歯車の損失は，歯車のかみ合いに伴う摩擦損失と潤滑油起因の損失（攪拌損失）に大別される．本試験では攪拌損失のみを評価するため，無負荷で試験を行った．試験条件を Table 2 に示す．歯車が回転することにより生じる損失を評価するため，試験では歯車かみ合い対への給油量を試験パラメータとし，軸受給油量は一定とした．歯車かみ合い部への給油量の総和は，12L/min，16L/min，20L/min の 3 条件であり，各かみ合い対へ均等に給油した．なお潤滑油の給油はかみ合い外れ側から行った．試験を行った入力歯車軸の回転速度は 1.5 万 rpm，3.0 万 rpm，4.3 万 rpm の 3 条件となる．

試験では，潤滑油給油量，給油および排油温度，歯車箱温度を計測した．歯車の損失は，潤滑油の給油量と給排油の温度差を用いて式(1)で計算した．

Table 2 Test condition

Item	Value
Gear oil flow (total), L/min	12, 16, 20
Bearing oil flow (total), L/min	5.6
Rotational speed, rpm	15000, 30000, 43000
Lubricant	ISO VG32
Supply oil temperature, °C	40

$$L = Q \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

ここで、

L	: 歯車損失 [kW]
Q	: 歯車給油量 [m ³ /s]
ρ	: 潤滑油密度 [kg/m ³]
c	: 潤滑油比熱 [kJ/(kg・°C)]
ΔT	: 潤滑油の給排油温度差 [°C]

4. 試験結果

試験計測値から歯車損失を計算した結果を Fig.2 に示す。給油量増加および歯車回転速度の増加により、歯車損失は増加する傾向が確認された。これは給油量の増加により、潤滑油と空気から構成される減速機内部の流体の密度が増加したためと考えられる。歯車軸の回転速度に対しては、非線形的に増加する傾向が確認された。今回の試験においては、回転速度 3 万 rpm から 4.3 万 rpm での歯車損失は、給油量 12L/min で回転速度の 2.0 乗、給油量 16L/min で回転速度の 1.9 乗、給油量 20L/min で回転速度の 1.8 乗に比例する結果となった。

歯車給油量と歯車箱温度の関係を Fig.3 に示す。歯車損失が大きい高速条件では歯車箱温度は高くなる結果が得られた。また給油量の増加に伴い歯車箱温度は低減する傾向が得られた。給油温度は 40°C であり、給油量の増加により歯車箱が冷却されたためと考えられる。

歯車損失と歯車箱温度の関係を Fig.4 に示す。同一損失であれば給油量が少ない方が歯車箱温度は高くなる結果が得られた。前述の通り、給油量増加により歯車損失は増加するが、一方で給油量増加により冷却性が向上しており、効率、冷却性の観点で最適な給油条件があると示唆される。

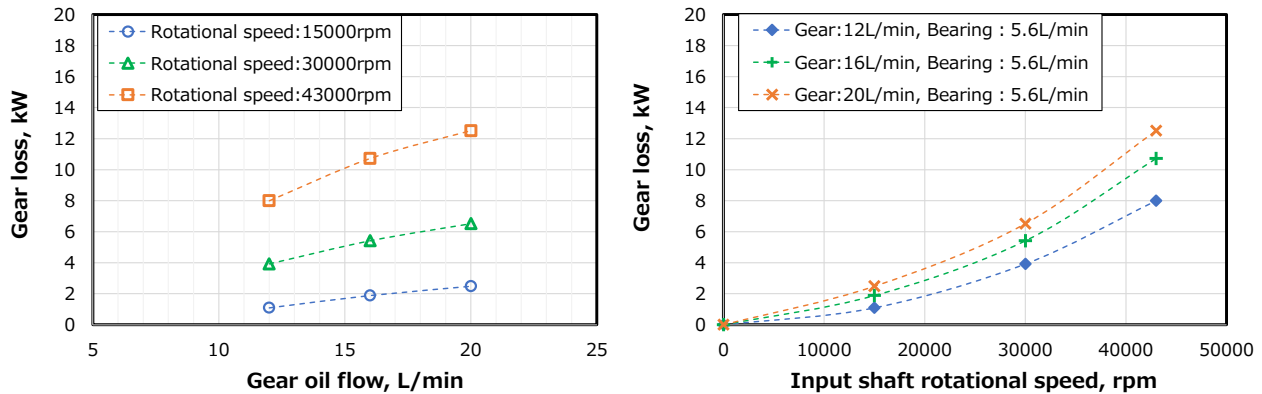


Fig. 2 Evaluation results of gear loss

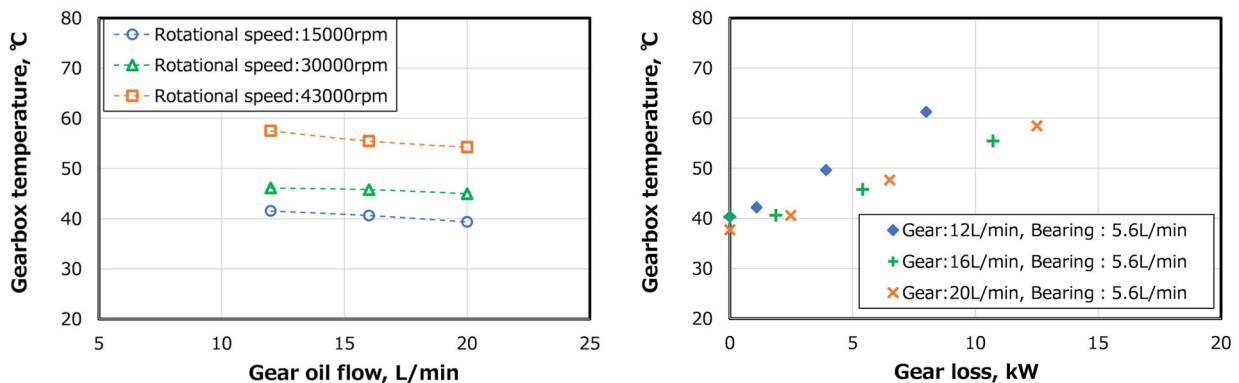


Fig. 3 Relationship between gear oil flow and gearbox temperature

Fig. 4 Relationship between gear loss and gearbox temperature

5. まとめ

本稿では、回転数と潤滑油給油量をパラメータとした歯車運転試験を行い、給油量と歯車回転数が損失や歯車箱温度に及ぼす影響を評価した。その結果、給油量増加および歯車回転速度の増加により歯車損失は増加する傾向になることを確認した。一方で、給油量増加により歯車箱温度は低減しており、効率、冷却性の観点で最適な給油条件があると示唆される。引き続き、高速・高周速条件で使用する歯車装置の損失や冷却性を評価可能な技術の構築を行っていく。

文献

- 1) 松本・朝鍋・高野他：高周速歯車の動力損失予測手法の開発，三菱重工技報，Vol.24，No.2(1987) 120.