

ボールオンディスク試験機を利用した軌道面上のグリース流れの PIV 評価

PIV evaluations of grease flows on raceway using ball-on-disk testers

関東学院大・院（学）*佐藤 遼介 関東学院大・院（学）西澤 圭悟 ENEOS（正）伊木 悠

ENEOS（正）酒井 一泉 関東学院大・院（学）三和 怜央 関東学院大（正）宮永 宜典

Ryosuke Sato*, Keigo Nishizawa*, Haruka Iki**, Kazumi Sakai**, Reo Miwa*, Norifumi Miyanaga***

*Graduate School of Kanto Gakuin University, **ENEOS Corporation, ***Kanto Gakuin University

1. はじめに

転がり軸受は機械の回転運動を支える要素部品であり、機械の省エネルギー化のために、低トルク化に関する研究が行われている。また、多くの転がり軸受はグリース潤滑で使用されており、軌道面近傍のグリースが転がり軸受のトルクに影響することが知られている¹⁾。著者らは、軌道面近傍のグリース流動状態を PIV 法により可視化する手法の確立し、増ちょう剤種による影響を報告してきた²⁾。しかし既報では、増ちょう剤量をそろえたグリースを用いていたため、ちょう度が異なっていた。

そこで本研究では、ボールオンディスク試験機を利用し、混和ちょう度を同程度にそろえた数種類のウレアグリースについて、ボール通過後の軌道面でのグリース流れを明らかにした。また、評価結果とそれらのグリースを用いて測定した軸受トルクとの相関を考察したので、ここに報告する。

2. 実験

2.1 供試グリース

Table 1 に供試グリースの性状を示す。ポリ- α -オレフィン（PAO）を基油に用い、混和ちょう度が 290 程度となるように調整した 3 種類のウレアグリースを使用した。増ちょう剤には、脂環式ウレア（UG-1）、短鎖アルキル脂肪族ウレア（UG-2）、長鎖アルキル脂肪族ウレア（UG-3）をそれぞれ用いた。また、PIV 解析時には蛍光微粒子を 0.2wt% 混合させたものを用いた。

2.2 PIV 解析

Figure 1 に示すボールオンディスク試験機を利用した。本研究では、ボール通過直後の軌道面でのグリース流れを撮影するために、ボールとディスクの接触点ではなく、接触点から 180 度の位置で撮影した。撮影には高速度カメラを用いた。ディスクには直径 105mm、厚さ 12mm のサファイアガラス、ボールには直径 22mm の SUJ2 鋼球を用いた。ボールとディスクをそれぞれ別のモータにより駆動し、すべり率を 0% とした。ボールとディスクの接触位置での周速を 0.2, 2m/s で行った。接触荷重はばねによって 50N（最大ヘルツ圧 1.2GPa）印加した。ディスクには蛍光微粒子を混合させたグリースを塗布した。グリースがかき分けられてから 0.7（0.2m/s 時）、0.07 秒後（2m/s 時）の軌道面でのグリース流れを 0.1 秒間撮影した。フレームレートは 1000fps とした。PIV 解析によってグリースに混合させた蛍光微粒子の流速を算出した。3 種類の供試グリースについて、軌道面中央からヘルツ接触幅の 2 倍の範囲での速度分布を比較検討した。

2.3 トルク試験

軸受トルクは、Table 2 に示す条件にて、内輪回転させた際のハウジングに作用する接線力をロードセルによって測定し、算出した。本研究では、計測時間を回転数ごとに 15 分間とした。試験軸受には 6201 を使用した。

3. 実験結果および考察

Figure 2 にディスクの各周回数における PIV 解析の結果を示す（接触部分の周速は 0.2m/s）。本研究では、グリースの流動状態を評価するために、解析領域内において 0.1mm/s 未満の速度である低速粒子を指標にして比較している²⁾。一般に、ウレアグリースは軌道面に増ちょう剤の付着が生じることがある^{3,4)}。このことから、軌道面でのグリース流れに増ちょう剤の付着具合が影響すると推測できる。よって、UG-1、UG-3 で低速粒子の割合が大きいのは、軌道面の増ちょう剤の付着が多く、流動が妨げられたことで、軌道面での流動が緩慢であったためだと考えられる。一方で、

Table 1 Characteristics of test greases

Sample No.		UG-1	UG-2	UG-3
Base oil	Type	Poly- α -olefin (PAO)		
Thickener	Isocyanate type	Methylene diphenyl diisocyanate (MDI)		
	Urea type	Alicyclic urea	Aliphatic urea (C8)	Aliphatic urea (C18)
	Content, %	15	10	25
Worked penetration		292	294	288

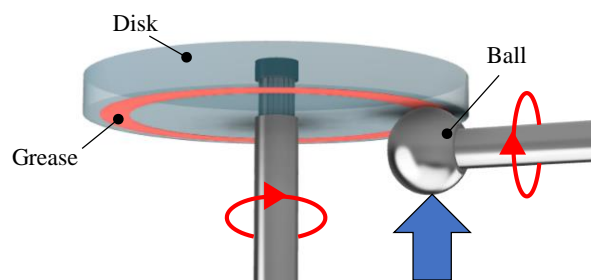


Table 2 Condition of the bearing torque test

Test bearing	6201
Load, N	Axial 50
Rotation speed, min ⁻¹	200, 2000
Temperature	RT

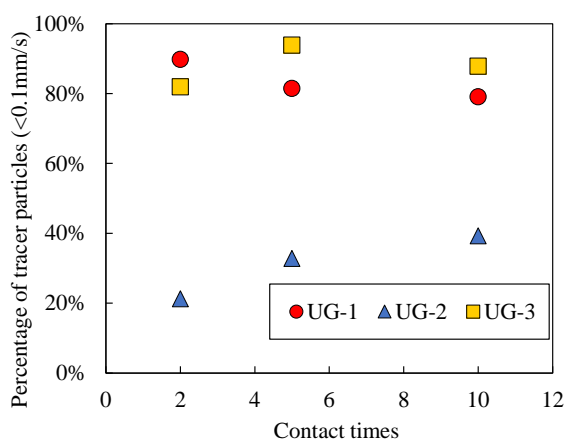


Fig. 2 Results of PIV evaluation of grease flow

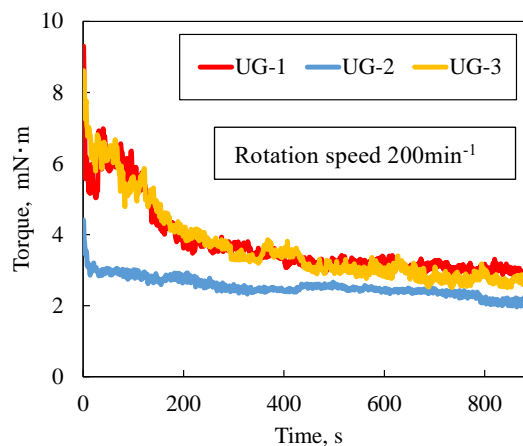


Fig.3 Time history of bearing torque

UG-2 の低速粒子の割合が小さいのは、増ちょう剤の付着が少なく、流動が妨げられなかったことで、軌道面での流動が活発であったためと考えられる。

Figure 3 に内輪回転数 200min⁻¹ 時のトルク試験結果を示す。試験開始後から UG-1, UG-3 は同程度のトルクを示した。UG-2 は試験開始直後にトルクが低下し、供試グリースの中で最も低いトルクを示した。これら軸受トルクの違いは、軸受内のグリース流れが影響していると考えられる。

そこで PIV 評価結果とトルク測定結果を比較すると、低速粒子の割合が大きいグリースほど軸受トルクが大きい傾向が見られた。すなわち、軌道面上に増ちょう剤の付着のような流動を妨げる存在の有無が軸受トルクに影響すると推測できる。したがって、低速粒子の割合が小さい UG-2 では、軸受内においても軌道面上のグリースや増ちょう剤の付着が少なかったため、優れたトルク性能を示したと考えられる。これらのことから、同程度の混和ちょう度のウレアグリースのトルク性能を相対評価するにあたり、本手法は有効であるといえる。

4. おわりに

ボールオンディスク試験機を利用して、軌道面でのグリース流れを PIV 法によって評価した。また、トルク試験機による軸受トルクの測定を行った。これらを比較検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) PIV 評価により、UG-1, UG-3 は低速粒子の割合が同程度であったが、UG-2 は低速粒子の割合が小さかった。このことから、同程度の混和ちょう度のウレアグリースにおいて、脂環式、長鎖脂肪族ウレアのほうが軌道面の増ちょう剤の付着が多く、短鎖脂肪族は軌道面の増ちょう剤の付着が少ないことがわかる。
- (2) 同程度の低速粒子の割合であった UG-1, UG-3 は同程度の軸受トルクを示し、低速粒子の割合が最も小さい UG-2 は最も低い軸受トルクを示した。

文献

- 1) 新田・津田・新井・坂本・酒井：転がり軸受のトルクにおけるジウレアグリースの粘性移行応力と増ちょう剤分子構造の影響，トライボロジスト，61, 10 (2016) 699.
- 2) 伊木・酒井・佐藤・西澤・三和・宮永：PIV 解析を用いたしゅう動面でのグリース流動状態の観察，トライボロジスト，67, 10 (2022) 掲載予定.
- 3) 星・滝渡・七尾・森：グリース潤滑における過渡応答の顕微赤外分光法によるその場観察，トライボロジスト，61, 11 (2016) 784.
- 4) 小宮・下司・八百谷・平山・松岡・坂本：潤滑グリースの油膜形成に及ぼす増ちょう剤の効果—摩擦面への増ちょう剤の付着・堆積を伴うグリース膜形成のメカニズム—，トライボロジスト，64, 1 (2019) 33.