

枯渇潤滑下でのフラーレン添加潤滑油の潤滑特性

Lubrication characteristics of fullerene-added lubricant in starved lubrication conditions

九州大（学）*田中 大輝 九州大（正）八木 和行

Hiroki Tanaka*, Kazuyuki Yagi*

*Kyushu University

1. はじめに

実際に使用されている機械のなかで動力を伝達する際にしゅう動部では過酷な環境下に晒されることで激しい摩擦や摩耗，さらには焼付きを起こす．最終的にはエネルギーの損失だけに留まらず，機械の機能停止や故障に繋がる可能性がある．ここで機械のしゅう動部では摩擦や摩耗を低減させることを目的としてその目的に合わせた潤滑特性を示す添加剤を添加した潤滑油を用いることが一般的となっている¹⁾．本研究は固体潤滑剤の1つであり，球状構造を持つことで潤滑に関して有利な効果をもたらすと期待されている²⁾フラーレンに注目し，フラーレンを異なる濃度で潤滑油に添加し，主に境界潤滑下で働きを研究するために潤滑面にごく少量の潤滑油のみをさす枯渇潤滑条件で摩擦係数と摩耗痕の観察実験を行い，比較対象として十分潤滑条件下でも摩擦係数の測定を行うことで定量的に評価した．

2. 実験方法

図1に本研究で使用した回転式摩擦試験機の模式図を示す．本装置を用いて任意の速度で回転させるSUJ2製のディスクとBK7製の曲率半径 $R = 77.85\text{ mm}$ の平凸レンズと点接触させ，枯渇潤滑条件及び比較対象となる十分潤滑条件において各すべり速度に関する摩擦係数の測定を行った．また，枯渇潤滑中に高速すべり速度に維持した状態で摩擦係数の時間変化の計測を行った．この実験後にはレーザー顕微鏡とラマン分光機を用いて表面分析を行った．なお潤滑油はVG68相当のPoly-alpha-olefin (PAO)とPAOにフラーレンを10 ppm, 100 ppm, 1000 ppmの3種類の濃度で添加した計4種類を用い，枯渇潤滑条件の場合100 μl の潤滑油を滴下し，十分潤滑条件の場合はディスクが覆われるほどの潤滑油の滴下を行った．

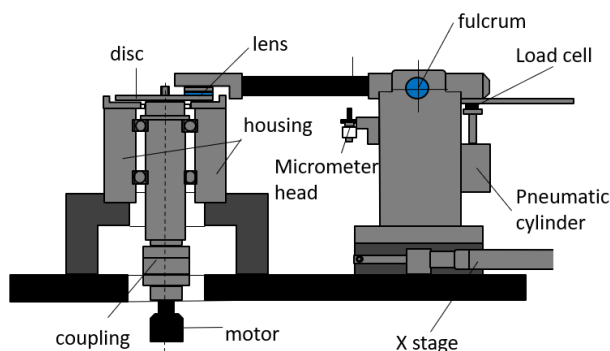


Fig. 1 Schematic of test rig

3. 実験結果

図2と図3にすべり速度を変化させた場合の摩擦係数の測定結果を示す．枯渇潤滑条件においてすべり速度0から200 mm/sの低速域ではフラーレンの添加や添加濃度で摩擦係数の大きな差は見られないが，すべり速度200 mm/sから800 mm/sの中高速域ではフラーレンが添加されることで摩擦係数が低減されていることが確認できた．また，摩擦低減効果はフラーレンの添加濃度が薄い方が発揮された．十分潤滑条件では本実験のすべり速度内ではフラーレンの添加や添加濃度で摩擦係数の明確な差は見られなかった．

枯渇潤滑条件のみ摩擦低減効果を発揮し，十分潤滑条件では大きく発揮されなかったのは枯渇潤滑条件では油膜厚

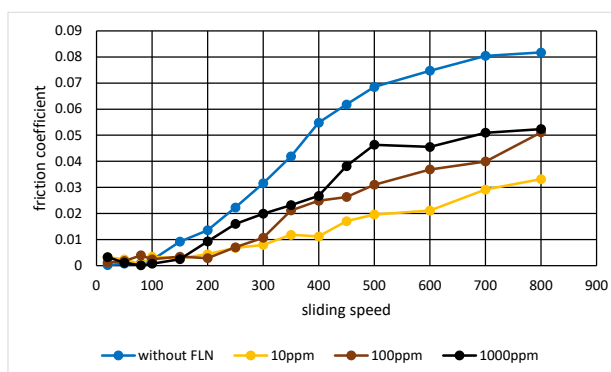


Fig. 2 Variations in friction coefficient in starved lubrication

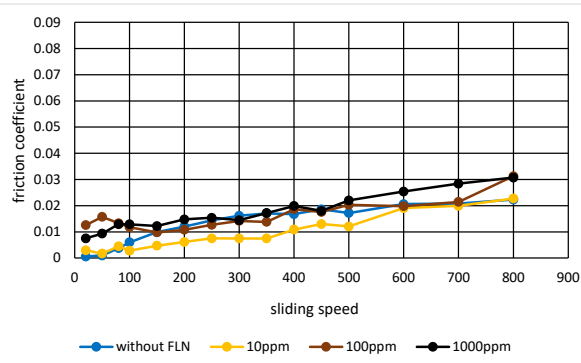


Fig. 3 Variations in friction coefficient in sufficient lubrication

さが薄くなり、流体潤滑から混合、もしくは境界潤滑域に潤滑状態が移行した結果、フラーレンが添加剤としての効果を発揮したためと考えられる。

図4にすべり速度 800 mm/s での摩擦係数の時間変化計測結果を示し、図5と図6に実験後の表面の様子を示す。摩擦係数の時間変化をみるとフラーレンを添加しなかった場合は時間が経った後も摩擦係数の増大が起きているが、フラーレンを添加した潤滑油は時間が経つにつれて摩擦係数が下降傾向にあり、フラーレンが摩擦に対して効果を発揮したと考えられる。実験時間 120 分後にはフラーレン量 10 ppm, 100 ppm, 1000 ppm, フラーレン無しの順に摩擦係数は小さい値をとった。さらにはレンズ、ディスクともにフラーレンを添加している場合は添加していない場合と比べて摩耗痕が滑らかになっているようにみえることがわかる。表1にフラーレンの添加濃度の違いによる粗さの計測結果を示す。レンズおよびディスクともにフラーレン量 10 ppm, 100 ppm, 1000 ppm, フラーレン無しの順に滑らかな値を示した。

以上のとおり、フラーレンが枯渇潤滑条件のような過酷な条件において摩擦係数を低減させる効果を持つことを裏つける結果となった。フラーレンの添加濃度の違いで摩擦・摩耗低減効果が変化することに関しては以下の通りに考察する。ファイバーウォブリング法によるフラーレン添加潤滑油の粘度測定によると添加したフラーレン量が 10 ppm, 100 ppm, 1000 ppm, フラーレン無しの順に粘性が高い値をとることがわかっている³⁾ため、粘性係数が高い順に潤滑面の保護効果を発揮していると考えることが出来る。また、潤滑油にフラーレンを添加した場合潤滑油中にはフラーレンの単体や会合体だけでなく、コロイド状に集合体を形成していることがわかっており、摩擦・摩耗を低減させる効果がある⁴⁾ため、フラーレン量が 10 ppm, 100 ppm, 1,000 ppm の順に潤滑油内にコロイドがより多く存在していると予想できる。

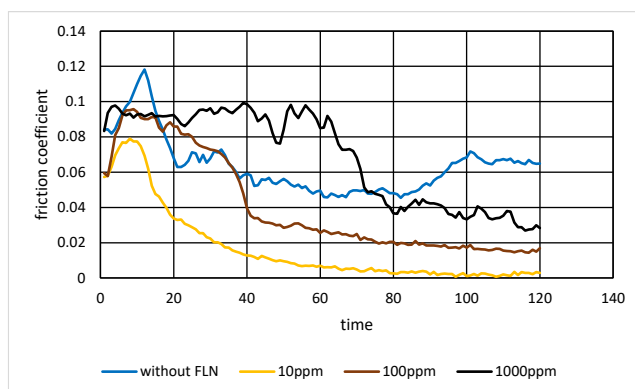


Fig. 4 Variations in friction coefficient with time at constant sliding speed of 800 mm/s in starved lubrication

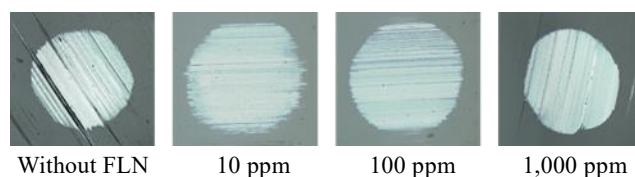


Fig. 5 Lens surface after tests

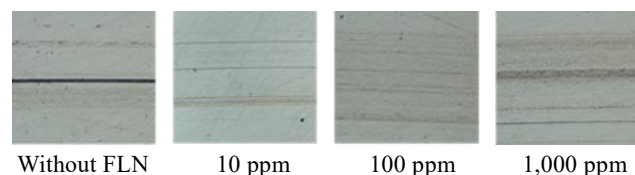


Fig. 6 Disc surface after tests

Table 1 Roughness of lens and disc surfaces

	Lens		Disc	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
Without FLN	0.28	6.12	0.25	3.02
FLN 10 ppm	0.14	1.17	0.21	1.76
FLN 100 ppm	0.16	1.56	0.24	1.99
FLN 1,000 ppm	0.22	2.7	0.25	2.07

4. おわりに

本実験は主に枯渇潤滑条件においてフラーレンの潤滑改善効果を調べることを目的として行った。本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- ・フラーレンを潤滑油に添加することで枯渇潤滑下のような厳しい条件であっても摩擦が低減された。
- ・フラーレン濃度が 10 ppm の場合が最も摩擦低減効果が高く、濃度を増加させると摩擦係数は高くなった。
- ・摩擦係数の低減効果は十分潤滑条件ではわずかにしか発揮されなかった。

文献

- 1) 佐々木：トライボロジーにおける潤滑油の役割, オレオサイエンス, 20, 8 (2020) 355.
- 2) 広中：フラーレン C₆₀ 薄膜の合成と応用, 表面技術, 47, 5 (1996) 419.
- 3) 伊藤・永井・福澤・東・張：トライボロジー会議 2020 秋 別府 予稿集, A22.
- 4) 近藤・門田・安部・今村：トライボロジー会議 2020 秋 別府 予稿集, A20.