

球状 POM ピンの押付けにより接触部とその周辺に残存するグリース分布
Distribution of Grease Remaining on and around Contact Area
Due to the Press by Spherical POM Pin

ソミック石川（正）*鈴木 学 ソミック石川（非）江塚 晃葉 ソミック石川（非）飛田 真利
豊橋技科大（正） 竹市 嘉紀

Manabu Suzuki*, Akiha Eduka*, Masatoshi Hida*, Yoshinori Takeichi**
*SOMIC ISHIKAWA Inc., **Toyohashi University of Technology

1. 緒言

自動車用ボールジョイントのしゅう動部の潤滑機構におけるグリースの働きを明らかにするため、我々は往復動すべり摩擦にて摩擦特性を調査している。グリースは非ニュートン流体の特性を有し、レオロジー特性は極めて複雑になっている¹⁾。基油とグリースの潤滑特性の違いはしばしば報告されている²⁾。我々の実験においてグリースの基油粘度が往復すべりにおける潤滑維持に影響し、摩擦面への油分の再供給性と関連すると考察した³⁾。しかしながら接触部周辺に残存したグリースからの基油あるいはグリースの供給のメカニズムを想定した場合、初期のグリース分布がその後の潤滑状態の変化に影響すると考えられる。そこで、摩擦試験を開始する際にどのようなグリース分布となっているかを把握する必要がある。本報では各種グリースを塗布した金属ディスクに対してポリアセタール樹脂のピンを押し付ける方法で製品組付け状態を考慮した面圧範囲における摩擦開始直前の接触状態を再現しグリース分布を調べる。グリース種類および押付け条件がグリース残存状態にどのように影響するかを考察する。

2. 実験

試験は Fig. 1 の模式図に示す。主な試験条件を Table 1 に示す。金属ディスクはランダム方向の研磨で仕上げる。グリースは金属ディスクに 10 μ m の厚み狙いで塗布し、治具に取り付した樹脂ピンを万能型引張試験機で 0.01 mm/s の速度で移動させ、球面部をグリース塗布部に押し付ける。所定の荷重に達したところで 60 秒静止させ、その後、除荷し接触を解除する。試験後の金属ディスクはレーザ顕微鏡にて観察する。

Table 1 Test conditions	
Test load	100 N, 1000 N, 2000 N, 4000 N
Pin	
Contact shape	Spherical
Radius of curvature	17.5 mm, 5 mm
Material	POM
Disk	
Material	SCM440
Roughness	0.04-0.07 μ m Ra

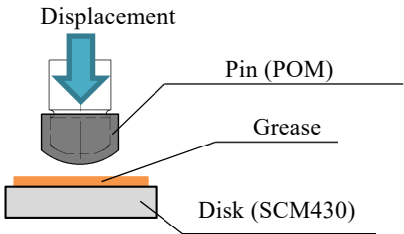


Fig. 1 Schematic diagram of the test

2.1 グリース

試験には Table 2 に示す 5 種類のグリースを用いた。増ちょう剤はすべてリチウム石けんで基油粘度が異なる。ちょう度は 250~300 の近い値となっている。本報では基油粘度が低いグリースから A, B, C, D, E と称する。

Table 2 Specification of test grease					
	A	B	C	D	E
Penetration	285	285	300	250	300
Thickener type	Lithium soap				
Base oil type	Mineral oil	PAO	PAO	PAO	Silicone oil
Kinematic viscosity of base oil, mm ² /s	223	2847	5678	7660	8000

3. 結果と考察

曲率半径 17.5 mm のピンを荷重 4000N で押し付けた後の金属ディスクの観察結果を Table 3 に示す。同軸光での観察であるため明部はディスク表面からの反射が強い領域と考えられ、すなわちディスク表面にグリースが無いが非常に少量である部分と考えられる。また、試験後のサンプルを顕微 FT-IR にて分析したところ、中央の明部の信号強度は低く残存するグリースが非常に少ない状態であることが確認され、観察画像の明暗によりグリースの残量が評価でき





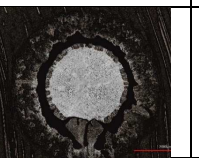
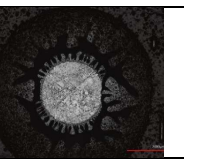





ると判断した。

接触部は同心円上にいくつかの領域が見られるが、各種グリースでディスクに残ったグリースの分布状態に違いがみられる。中心付近より明部が広がり中央から排出したグリースが堆積したと思われる暗部の円環が確認できる。グリース A のみ暗部円環の外側にも明部が広がっている。油滴およびディスクへの付着物を確認した領域について顕微 FT-IR で分析し、Fig. 2 に示す。画像はグリース A の試験後ディスクであり、接触部中央付近の油滴状の領域、斑模様の付着物の領域を正反射法で分析し、それぞれ赤色、緑色の線でチャートの一部を示す。円環状暗部領域は顕微 ATR 法により計測し、青色でチャートを示した。1360 cm^{-1} 付近のピークは CH_3 の末端基に由来し、主に基油の存在を示す。また、1580 cm^{-1} 付近のピークは COO^+ の官能基に由来し、増ちょう剤の存在を示す。赤色で示した油滴状の領域は基油のみが検出された。離油した基油が中央に残された状態と考えられる。緑色で示した斑模様の領域は増ちょう剤のみが検出され、油分が抜けた増ちょう剤が金属面に付着したと考えられる。青色で示した円環部からは基油および増ちょう剤が検出されグリースの状態と考えられる。この領域はグリースが移動したと考えられる。分布状態の違いを明確にするために二値化処理をした画像を Table 3 の 3 段目に示す。中央油滴や斑模様に見える部分の暗部は黒色となるように二値化のしきい値を設定した。

二値化した画像の中央段幅 0.2 mm の黒に対する白の濃度を求め枯渇割合とし Fig. 3 に示す。枯渇割合の分布を棒グラフで示す。各枯渇割合は左端の軸で示す。油滴、増ちょう剤の付着物、グリースが残存している領域は割合が小さくなる。ヘルツの弾性接触理論で計算される面圧を緑色の線、右側の中側目盛で示す。FEM の弾塑性解析で求めた面圧分布を青色の線で示し、隙間分布を左端の目盛軸で赤色の線で示す。緑矢印で枯渇割合にて 0.6 となる最外周半径を示す。枯渇割合 0.9 の最外周半径についても同様の考え方で求める。この最外周半径を枯渇半径として以下の分析をした。

重回帰分析を実施し、枯渇半径と寄与があるパラメータを Table 4 に示す。FEM 解析による接触半径、基油粘度の対数をとったものに寄与が確認された。枯渇割合 0.6 の場合にはグリースの見かけ粘度の影響も疑われる。Fig. 4 に FEM 解析で計算した接触半径に対する枯渇割合 0.6 での枯渇半径を示す。図中のプロットは 3 回計測した平均値を各グリース毎で印を変えて表記している。いずれのグリースも接触面積が大きくなる条件ほど枯渇半径は大きい、グリース E は傾向が異なる。グリース E のみ基油にシリコンオイルを用いており、基油種類が枯渇半径に影響した可能性があるが、今後の考察とする。

Table 3 Result of observation of disk after test (SR17.5, 4000 N)

Samples	A	B	C	D	E
Disks 2 mm 					
Binarized images					

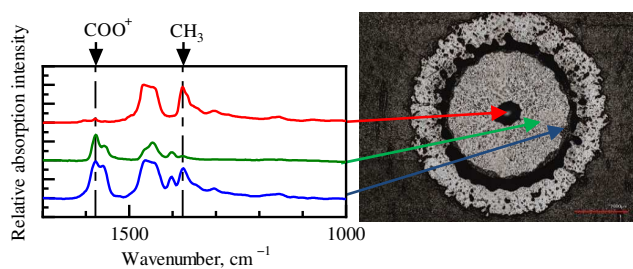


Fig. 2 Result of FT-IR analysis of disk after test

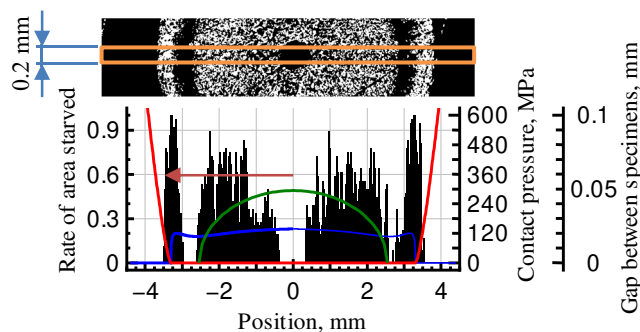


Fig. 3 Grease starvation distribution on disk after test

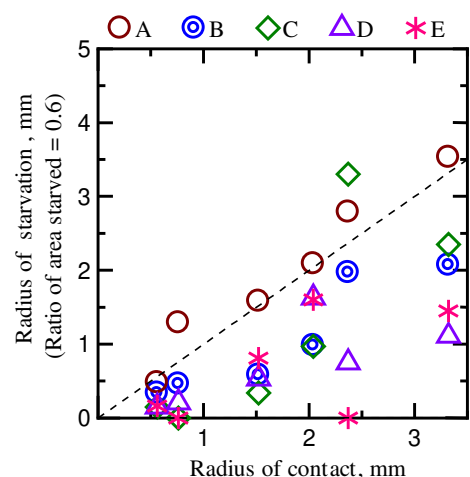


Fig. 4 Relationship between contact radius and starvation radius

Table 4 Result of multiple regression analysis

		Starved area ratio 0.6	Starved area ratio 0.9
		Multiple correlation coefficients	
Objective variable: Radius of starved area		0.762	0.726
Explanatory variables:		Partial regression coefficients	
	Contact radius calculated by FEM	0.718	0.598
	Logarithm of kinematic viscosity of base oil	-0.810	-0.708
	Logarithm of apparent viscosity @10 s ⁻¹	0.575	
	Constant term	1.34	2.23

4. まとめ

金属ディスクに塗布したグリースに球形状の樹脂ピンを押付け、ディスクに残存するグリースの分布を調べた結果、以下の知見を得られた。

- ・接触面内では離油やディスクへの増ちょう剤付着が発生し、高面圧条件では明確な枯渇領域を形成した。枯渇領域の広さは接触すると考えられる範囲が広いほど広く、基油粘度が高いほど狭くなった。
- ・最も低粘度基油のグリースでは接触範囲よりも外側まで枯渇領域が発生した。一方で高粘度基油のグリースでは接触面圧の低い条件で枯渇が発生しない場合があった。
- ・枯渇割合 0.6 で分類した領域は接触範囲、基油粘度の他に見かけ粘度の影響が示唆された。見かけ粘度が高いほど枯渇領域は広がったことから、隙間の小さい領域でのグリースの移動において粘度の高さが枯渇状態に影響したと考えられる。

低粘度基油のグリースでは押し付けにより接触部およびその周辺から排除されることが分かった。ただし、本報告では数点の荷重条件での実施に留まるため、試験前の塗布量、ピンの押し込み速度などの影響は確認できていない。基油種類、面圧を含め更に幅広く調査し、グリースの分布状態への影響考察を今後進めていきたい。

文献

- 1) 星野：グリース潤滑の理論，トライボロジスト，47，1 (2002) 8.
- 2) 丸山・齋藤：油およびグリース潤滑下におけるフレッチング摩耗防止メカニズムの違い，トライボロジスト，56，12 (2011) 788.
- 3) 鈴木・荒川・江塚・竹市：往復すべり摩擦における試験条件がグリース油膜切れ発生に及ぼす影響，トライボロジー会議 2022 福井 予稿集 B32.