

プロジェクトメンバー：機械工学系 准教授 竹市 嘉紀、 博士 鈴木 学(株式会社ソミック石川)、
修士1年 伊野波 盛隆、 学部4年 佐野 史治

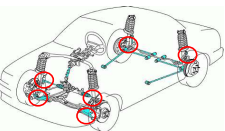
背景

【ボールジョイントのトライボロジー】

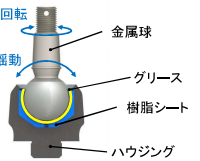
ボールジョイントは自動車の関節の役割を担う部品であり、車両の方向を変える操舵装置や車体を支える懸架装置等に使用される。ボールジョイントは金属球と樹脂シートから構成され、摩擦部はグリースによって潤滑されている。グリースとは固体の増ちょう剤と液体の基油から構成される半固状体の潤滑剤であり^[1]、このことから、内部の潤滑状態を複雑なものとしている。またボールジョイントは回転・揺動運動を示し、これも潤滑状態を複雑化している一因である。ボールジョイントの性能向上のためには、金属と樹脂との摩擦におけるグリースのトライボロジー特性を解明する必要がある。

ボールジョイントは寒冷地域や暑熱地域で使用されることや、主に足回りに設置されブレキ熱の影響を受けることから、温度の変化によりグリースの基油の粘度が変化する。そのため使用する温度によってグリースの潤滑特性や運転時の操舵フィーリングが変化する。現行のボールジョイントに使用されているグリースには基油にPAO(ポリオレフィン)が用いられているが、それより粘度の温度依存性が低いジメチルシリコンオイルを基油に用い、広い温度域で性能維持が可能なグリースの開発が進められている。

そこで本研究では基油・グリースのそれぞれの潤滑特性を把握するために摩擦試験を実施した。また、しゅう動面で行っている現象を詳細に把握するために、共焦点レーザー顕微鏡にて蛍光法による増ちょう剤の挙動観察を行い、グリースの潤滑メカニズムを明らかにすることを目的とした。



ボールジョイント使用箇所



ボールジョイント概略図

潤滑剤

使用した潤滑剤について下記に示す。なお、摩擦試験に供したグリースA, Cは蛍光特性を有さないため、蛍光法による観察では蛍光剤を添加した。

潤滑剤一覧

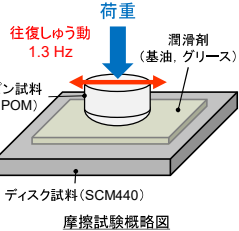
名称	グリース				基油	
	グリースA	グリースB	グリースC	グリースD	オイルA	オイルB
成分	リチウム石けん, PAO		リチウム石けん, ジメチルシリコンオイル		PAO	ジメチルシリコンオイル
ちよ度	280		290		-	-
基油動粘度 (@40°C), mm ² /s	1,240		6,050		1,240	7,570
外観					-	-
備考		クマリン6 0.01 mass% 添加	クマリン6 0.01 mass% 添加			

摩擦試験

ボールジョイントの揺動運動を模擬し、ピン・オン・ディスク式の往復動摩擦試験を行った。この試験では、樹脂ピンに荷重を加え往復動させることで摩擦係数を調べる。

【試験条件】

ピン試料に実機の樹脂シートに用いられているポリアセタール(POM)を、ディスク試料に金属球に用いられているクロムモリブデン鋼(SCM440)を用いた。基油潤滑試験では、ディスクにオイルプールを形成し、そこに各基油を供給した。グリース潤滑試験では、厚さが1 mmになるように塗布した。いずれの試験でも、接触域が十分に潤滑剤で満たされるように供給した。樹脂ピンに加えた垂直荷重は、実機のボールジョイントの面圧(100 MPa)を考慮し500 Nとした。往復動のストローク長さは3.0 mm、往復周波数は1.3 Hzとし、往復回数は、摩擦初期のなじみの過程における摩擦係数の変動がおおむね定常になり、かつ、潤滑剤の枯渇が起こる前の十分に潤滑された状態で評価するため、2500往復とした。



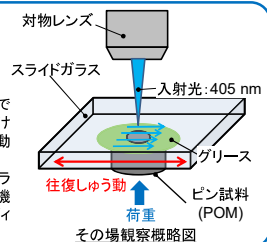
摩擦試験概略図

蛍光観察

蛍光観察には共焦点レーザー顕微鏡(Nikon A1)を用いた。

【摩擦面のその場観察】

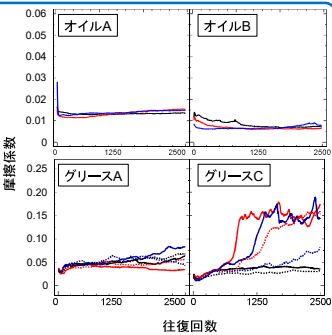
樹脂ピン試料とディスク試料の間にグリースを塗布し、設定した荷重までピンをガラスディスクに押し付け、観察を行った。その後、ピンを押し付けたまま一定の振幅および速度でディスクを往復動させ、増ちょう剤の挙動を観察を行った。右図にその場観察の概略図を示す。その場観察は入射光を透過させる必要があるため、ディスク試料にはスライドガラスを用いた。ピン試料は実機のボールジョイントを想定して、実機に使用されるポリアセタール(POM)を使用した。押し付け荷重はピンとディスクの接触面圧が100 MPaになるように設定した。



その場観察概略図

結果 -【各潤滑剤の試験結果】-

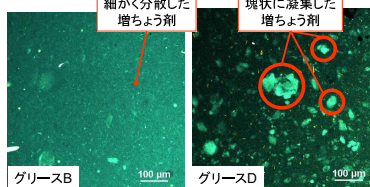
右図に各潤滑剤を用いて摩擦試験を行った結果を示す。横軸が往復回数で縦軸が摩擦係数を示している。図の上側がオイル潤滑の結果で、下側がグリース潤滑の結果である。オイル潤滑では、オイルA, オイルBともに試験中低い摩擦を維持した。オイルAでは摩擦係数が約0.015、オイルBでは約0.01であった。グリース潤滑では、グリースAは試験中低い摩擦を維持し、最終的な摩擦係数が0.1を超えることはなく、試験ことごとくばらつきは小さかった。一方、グリースCでは、低摩擦を維持する場合や、急激に摩擦係数が上昇する場合に分かれ、最終的な摩擦係数は0.03から0.18と、試験ことごとくばらつきが大きかった。両グリースは増ちょう剤とともにリチウム石けんとしているため、基油の違いが試験結果に顕著に表れるものと予想していた。しかし予想とは異なる結果が得られ、この違いを発現する原因を解明するため、共焦点レーザー顕微鏡を用いた観察を行った。



結果 -【共焦点レーザー顕微鏡】-

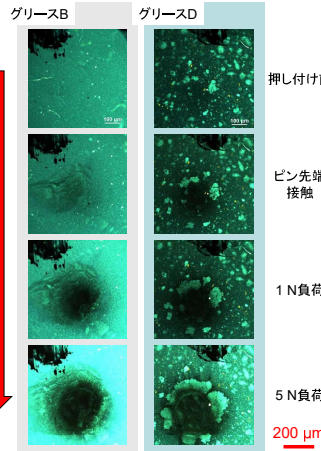
『蛍光グリースの静的観察』

グリースB, Dについて、スライドガラスに塗布したものを観察した。明部が増ちょう剤と思われ、2グリースで状態の異なる増ちょう剤を観測した。



『樹脂ピンの押し付け観察』

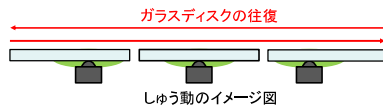
- グリースB
荷重が負荷されると、グリース中増ちょう剤が押しつぶされ広がっていく様子が見られた。接触域の周辺には細かい粒状の増ちょう剤が存在していた。
- グリースD
グリースBと同様に、荷重が負荷されると増ちょう剤が押しつぶされていく様子が見られたが、接触域周辺の様子は異なり、増ちょう剤の塊が存在していた。



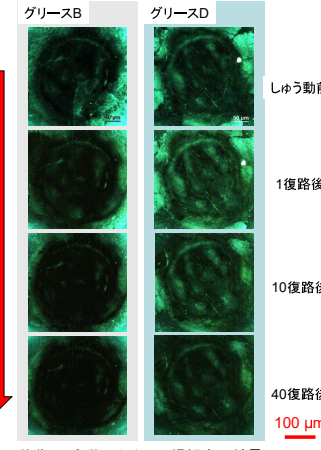
樹脂ピンをガラスディスクに押し付けた様子

『往復しゅう動時の摩擦面の観察』

荷重負荷後、一定の振幅及び速度でガラスディスクをしゅう動させグリース中増ちょう剤の挙動を観察した。



- グリースB
しゅう動開始直後、接触面に存在していた増ちょう剤が接触面外へ移動する様子が見られた。移動した増ちょう剤が再び接触面へ侵入することはなく、周辺に溜まるような挙動を示した。
- グリースD
しゅう動開始から終了まで、接触面に増ちょう剤が留まり続ける様子が見られた。40往復後の接触面の増ちょう剤量はグリースBより多いように見受けられ、増ちょう剤の樹脂ピンへの付着性の違いも示唆された。

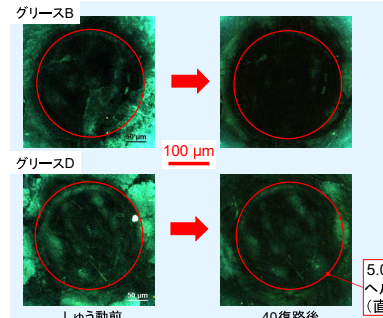


往復しゅう動によるその場観察の結果

【接触面の増ちょう剤の評価】

撮影した往復しゅう動動画に対して1コマずつ画像処理を行った。接触面の明部面積を算出することで接触面に存在する増ちょう剤量の定量評価を試みた。しゅう動開始時の明部面積を1とし、明部面積の変化を整理した。

- グリースB
しゅう動の初めで明部面積が大幅に減少し、以降一定の値を示す様子が見られた。接触面外に増ちょう剤が移動したことにより明部が減少したと考えられる。
- グリースD
しゅう動回数増加に伴い一定量で明部面積が減少した。しゅう動により面内に増ちょう剤が広がって油膜が厚さが減少したことが原因だと考えられる。



まとめ & 今後の展望

共焦点レーザー顕微鏡を使用し、その場観察によって以下の結果を得た。

- 押しつけ観察時の増ちょう剤は、どちらのグリースも荷重の負荷によって増ちょう剤が変形、結合する様子が見られた。
- 往復しゅう動時の増ちょう剤の挙動は、PAOを基油とするグリースAでは増ちょう剤が接触面の外へ移動したのに対し、シリコンオイルを基油とするグリースCでは、面内に留まり続けた。

【今後の展望】

- 増ちょう剤の各材料に対する付着性の評価
- 接触域周辺におけるグリースの離油度(増ちょう剤の基油の放出のしやすさ)の評価

参考文献
[1] 鈴木学, 白井忠義 : ボールジョイントの技術動向とトライボロジー, トライボロジスト, 54, 9(2009) 604-609
[2] 鈴木 他 : 往復すべりにおけるグリース用基油の粘度の潤滑への影響, トライボロジー会議議事録集 高松(2017)F27