

摺動用樹脂材料の潤滑機構の解明および 潤滑用グリースの増ちょう剤挙動の解明



プロジェクトメンバー：機械工学系 竹市嘉紀, 後藤匠, 荒木渡羽, 山下仁大
中堀優希, 本間凌央
(株)ソミック石川 鈴木学

9 産業と技術革新の基盤をつくろう

12 つくる責任 つかう責任

13 気候変動に具体的な対策を

背景

ポリエチレンブレンド材料(HDPE+UHMWPE)

- HDPE : 成型性O
 - UHMWPE : 成型性× 耐摩耗性O
- ブレンド材料は単一材料とは異なる構造(マクロ構造)を有する



ポリエチレンブレンド材料の潤滑メカニズム解明における課題

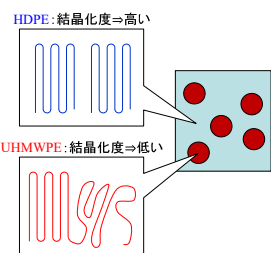
摩擦試験結果から、単一材料(HDPE, UHMWPE)より良好な摩擦特性を示すことが確認されたが、その潤滑メカニズムは不明である。また、ブレンド材料は単一の材料とは異なる構造(マクロ構造)を有する。潤滑メカニズム解明のためにも、まずはマクロ構造を把握する手法を確立する必要がある。

分析手法の検討

本ブレンド材料を構成するHDPEおよびUHMWPEはどちらもポリエチレンであるため、基本構造はどちらもCH₂である。そのため、結合種の違いなどから成分を区別することができない。

一方で、ポリエチレンは結晶性樹脂に分類されており、その分子量の違いすなわち分子鎖の長さの差によって結晶性(結晶化度)が異なる。そこで、ラマン分光分析を用いてスペクトルを取得し、そこから算出される結晶化度の違いから、ブレンド材料中の成分を区別できると考えた。

また、結晶性の違いは光の複屈折性にも影響を与えることが考えられるため、偏光観察を実施してマクロ構造の観察を試みた。両者の結果を比較し、ラマン分光分析によるマクロ構造把握の有用性を検討する。

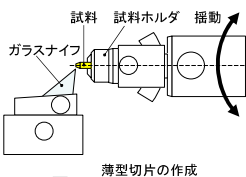


本研究の目的: ポリエチレンブレンド材料中のマクロ構造を観察するための手法の確立

Experiment

薄型切片の作成

右図のように、ミクロトームを使用して、ポリエチレンブレンド材料の薄型切片を作成した。試料厚さは2μmとし、切片切り出し後はスライドガラス上に移動させ、保管した。

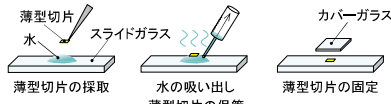


偏光観察

VHX-8000を用いて薄型切片の偏光観察を実施した。結晶質であれば、複屈折が生じて透過光が観察レンズに届くが、非晶質の場合は複屈折は生じず透過光が届かない。ブレンド材料中のHDPEとUHMWPEの結晶化度の差から像の明暗が分かると考える。

ラマン分光分析

NRS-7100を用いてラマンスペクトルを取得した。スペクトルは結晶質および非晶質のピークに分離することで、結晶化度の算出が可能である。薄型切片から取得したスペクトルの非晶質由来の積分強度からラマンイメージングを出力することで、HDPEとUHMWPEで色味が分かると考える。



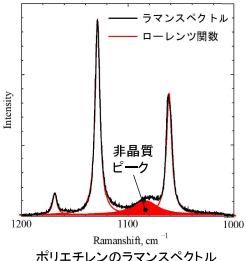
Result

ポリエチレンブレンド材料薄型切片の偏光観察

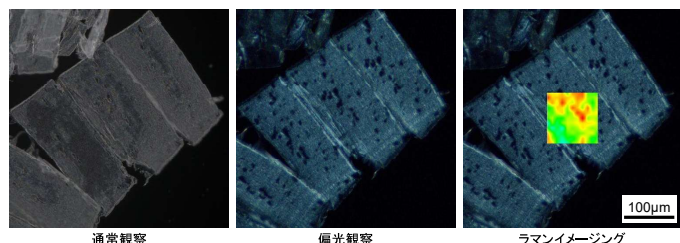
通常観察像と比較すると、偏光観察像は試料中で像の明暗がはっきりと分かれていることが確認できる。UHMWPEはHDPEと比べて分子鎖が長く、結晶化度が低いとされているため、偏光画像の試料中において、黒い斑点の領域にUHMWPEが存在していることが分かる。

ポリエチレンブレンド材料薄型切片のラマン分光分析

ポリエチレンについてラマン分光分析を実施すると、右図の黒線で示すようなスペクトルが取得できる。ローレンツ関数を用いて各ピークを分離し、1000-1200cm⁻¹の積分強度に対する非晶質ピークの積分強度の割合から結晶化度が算出される。非晶質ピークの積分強度を利用し、ラマンイメージングを出力した。赤い領域ほど結晶化度が低いことを示しており、UHMWPEが存在する領域と考える。偏光観察像と比較すると、偏光観察に見られた黒い斑点領域と同一箇所にラマンイメージングの赤い領域が存在している。そのため、偏光観察で見られたマクロ構造と同様のものが、ラマンイメージングにて捕捉可能であると結論づける。このようなHDPEが大部分を占める「海」の中にUHMWPEが「島」のように点在する構造を「海島構造」と呼ぶ。



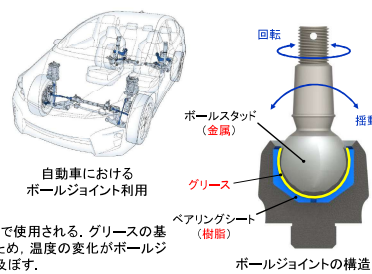
今後は、ラマンイメージングによる分析を摩擦面に適用し、摩擦前後における海島構造の変化を追跡することで、ポリエチレンブレンド材料のマクロ構造が摩擦に与える影響を調査する。



背景

自動車用ボールジョイント

- 継ぎ手部品として以下のような装置に利用される
- ステアリングシステム装置
- サスペンションシステム装置
- ボールスタッド(鋼球)とベアリングシート(樹脂)の組合せで、接触面はグリースで潤滑されている。
- 潤滑機構解明の必要性
- 往復動すべり摩擦状態
- 金属と樹脂との摩擦
- グリースによる潤滑(増ちょう剤と基油の組合せ)



ボールジョイントの性能向上における課題

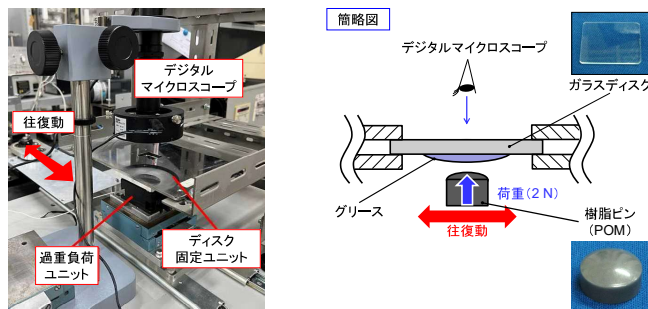
ボールジョイントは-30~80°Cという幅広い温度環境下で使用される。グリースの基油(PAO;ポリ-α-オレフィン)の粘度は温度に依存するため、温度の変化がボールジョイントに用いられているグリースの潤滑挙動に影響を及ぼす。⇒ 粘度の温度依存性が小さいシリコーンオイルを基油としたグリースの利用を検討

本研究の目的: 異なる基油からなるグリースの潤滑挙動に対する基油の影響を明らかにする

Experiment

潤滑剤として3種類のグリース(Gr_PAO, Gr_Si, Gr_Mi)を供試材とした。いずれのグリースも増ちょう剤は同一でリチウムステアレートであるのに対し、基油は異なっており、Gr_PAOはPAO(ポリ-α-オレフィン)、Gr_Siはジメチルシリコーンオイル、Gr_Miは鉱油を基油としている。

往復摺動中のグリース挙動を可視化するため、POM製の樹脂ピンとガラスでディスクを使用したピンオンディスク方式でのその場観察を実施した。グリースを塗布したガラスディスクに樹脂ピンを2Nで押しつけ、樹脂ピンを往復摺動(往復摺動距離3mm、往復周波数1.3Hz)させる様子をデジタルマイクロスコープ(30fps)にて撮影した。



Result

挙動観察結果

下図は3種類のグリースにおいて摺動開始から5時間後までの様子を示したものである。図中の黄色い円はヘルツ円(推定400μm)と推定される箇所を示しており、緑色の線で囲っている領域は樹脂ピンとガラスディスクの間に挟まり、樹脂ピンの往復摺動に伴いつままわっているグリースを示している。以降この領域をメニスカスと呼称する。

Gr_PAO及びGr_Miの潤滑状態

これらのグリースについては摺動開始から5時間後まで接触円付近に潤沢にグリースが存在しており、樹脂ピンの往復摺動に伴い接触面の摩擦方向へ移動している様子が確認できた。また、赤色の矢印が示すようにメニスカス領域のグリースが接触面前方に回り込むように動き、潤滑油を供給しているような挙動を示した。

Gr_Siの潤滑状態

Gr_Siについては樹脂ピンの押しつけ時に形成された接触面付近のメニスカスが摺動開始10分後には摺動面両端にかき分けられた様子が確認できた。また、時間経過によりこれらのグリースが接触面へ近づき様子を確かめられたが、接触面とメニスカス領域が変わることは無かった。従ってGr_Siの場合樹脂ピンの動きに付きまわって動くグリースは存在するがそれが接触面へ供給されることは無いため、他のグリースと比較して潤滑状態を保ちにくいと考えられる。

今後は、これらの挙動の違いがグリースのどのようなパラメータの違いに起因し発生したのか調査する。

