

補助事業番号 2020M-150

補助事業名 2020年度 極低速閉じ込め-滑り試験による増ちょう剤挙動の解明に基づく  
グリース開発指針の探求 補助事業

補助事業者名 九州工業大学 大学院工学研究院 機械知能工学研究系 トライボロジー研究室  
西川 宏志

## 1 研究の概要

転がり軸受など、多くの機械要素の潤滑に欠かせないグリースは、微細な固体である増ちょう剤を含むために流動特性が複雑で低速領域では厚膜を形成するなど、潤滑膜形成のメカニズムは未だ解明されていない。本研究は、グリース開発の指針確立を目的とし、鋼球とガラス円板からなる点接触部のグリース膜の光干渉法を利用した直接観察、閉じ込め厚膜の滑り試験、軸受トルク計測などを行うことでグリースの挙動を支配する増ちょう剤の影響を調査し、極低速スクイズによって形成した閉じ込め厚膜の摩擦挙動から増ちょう剤特性が把握できることなどを明らかにした。

## 2 研究の目的と背景

世界に200億個以上存在する転がり軸受をはじめとした多くの機械要素の潤滑剤としてグリースは不可欠である。グリースは、その使用箇所に応じて必要な特性が異なる。例えば、ハードディスクのヘッドを位置決めするアクチュエータのピボット軸受では、nmレベルでの安定性が必要であり、電気自動車ではグリース膜の不均一さから生じる振動・騒音が問題となる。



転がり軸受

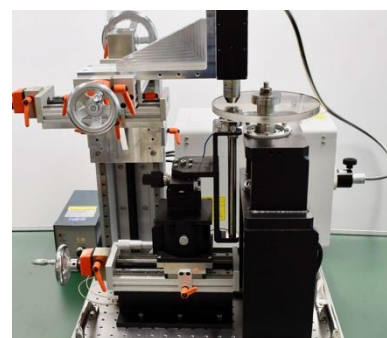
グリースの高性能化は、摩擦低減による省エネルギー化をはじめ、グリース、機械要素の寿命延長による省資源化にも大きく寄与しているが、その流動特性が特異で未だ挙動は十分解明されていない。本研究は、グリースを高性能化するために不可欠な増ちょう剤の挙動を解明し、使用箇所に最適なグリース開発の指針を得ることが目的であり、省エネルギー・省資源化による社会への貢献を目指すものである。

## 3 研究内容

極低速閉じ込め-滑り試験による増ちょう剤挙動の解明に基づくグリース開発指針の探求

( <https://nishikawah.wixsite.com/kit-nishikawa/grease-ehl> )

従来の駆動条件に加えて多様な運動条件下での実験を可能にするために、補助事業によ



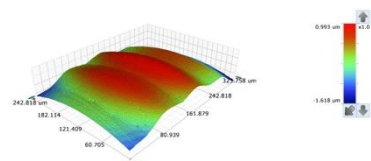
光干渉法実験装置

り導入したアクチュエータなどで装置の駆動部および観察光学系に改良を行った。

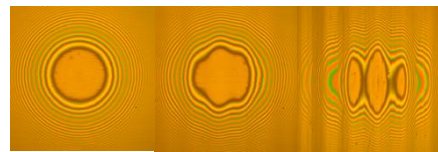
これにより従来よりも安定して、接近速度  $\text{nm/s}$  オーダから  $5000 \text{ mm/s}$  以上までの広範囲で試験できるように、また高剛性化により高速な衝突速度での振動を抑えた実験が可能になった。

表面の微細粗さが  $\text{nm}$  オーダと小さく、かつ緩やかな断面を持つ複列帯状モデル突起を持つ鋼球（測定結果参照）を製作し、接触圧力分布が異なる状態を作ることになった。右の接触状態光干渉像は左より平滑鋼球、高さ  $0.1 \mu\text{m}$ 、 $0.4 \mu\text{m}$ 、いずれも荷重は  $5 \text{ N}$  である。これを用いて膜厚、圧力測定のための校正等を行なったが、現時点では十分な精度が得られておらず、今後さらなる精度向上を目指す。

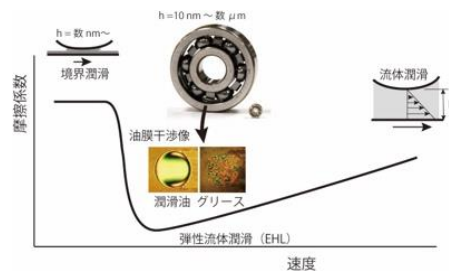
油潤滑下で使用される転がり軸受等では速度が高い場合は膜厚が厚く、摩擦が小さいが速度が低い場合は膜厚が薄くなり摩擦が生じる。グリースも同様な挙動を示すが、低速域で速度低下とともに膜厚が厚くなる挙動を示す場合がある。これは低速では増ちょう剤の相互作用の影響が大きくなるためである。研究代表者は接触面に垂直な運動を行い接触する場合においても同様な厚膜化現象が生じることを見出し、これを用いて厚膜を形成したのち低速滑り運動を行い、摩擦を測定することで増ちょう剤のせん断特性を調査する方法を提案した。増ちょう剤リッチ膜をせん断することで、増ちょう剤間の相互作用の強さ、鋼球・Cr膜蒸着ガラス表面への付着強さを評価できる。摩擦の大きさ、低速での厚膜形成状態、グリースを軸受に使用した場合のトルクの大きさ、レオメータによる見かけ粘度がそれぞれ対応していた。



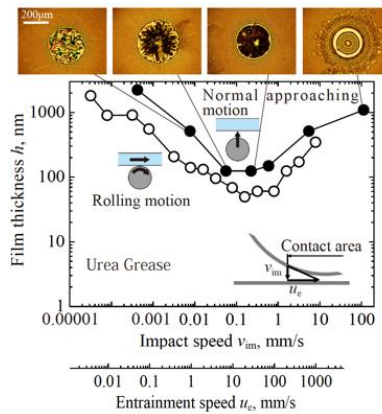
鋼球表面突起



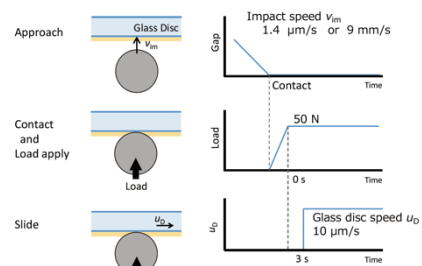
接触状態光干渉像



速度と潤滑状態

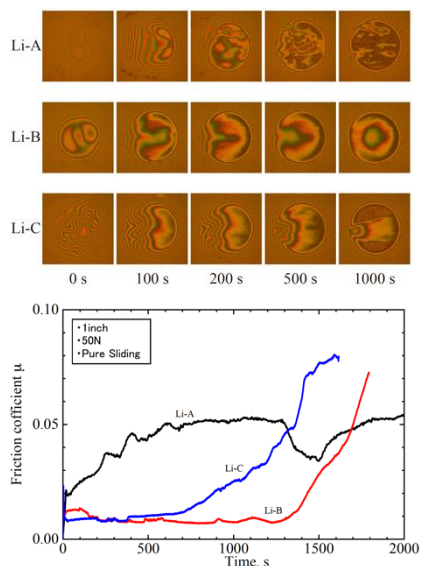


転がりと垂直運動の膜厚比較

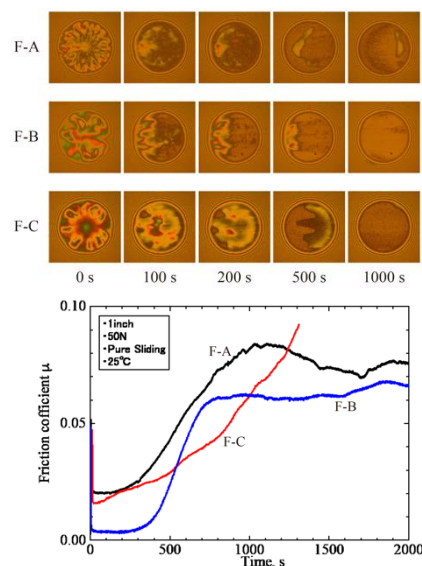


閉じ込め滑り試験法

増ちょう剤タイプの異なるウレアグリース、リチウムグリース、フッ素グリースに対する比較を行なった。験範囲において、全般的にはウレアグリースが最も摩擦が大きかった。これは、ウレアグリースがフレッチングを防止する特性があることと対応していると考えている。リチウムグリースは、グリースにより挙動が異なり、薄い膜を継続的に形成できるものが、長期間摩擦が小さく、軸受トルクおよびその変動も小さかった。フッ素系グリースは、閉じ込め膜の摩擦がすべてのグリース中で最も小さいものがあったが、いずれのフッ素系グリースも滑りに伴い短時間で摩擦が上昇した。閉じ込め膜の干渉像時間変化を見ると、いずれのフッ素グリースも膜が消失している部分が短時間で生じており、このため接触二面の直接接触が生じたと考えられる。これはフッ素系増ちょう剤の表面エネルギーが小さく相互作用が弱いことと対応しており、滑りを生じやすい運転条件での転がり軸受の使用には注意が必要である。



リチウムグリース試験結果



フッ素グリース試験結果

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

様々な用途に適した多様なタイプのグリースが必要とされており、グリース開発において、本研究で明らかにした増ちょう剤の種類によって異なる膜形成挙動、閉じ込め滑り状態での摩擦挙動、せん断挙動の調査手法を利用することで、目的とする機械要素が使用される速度域や許される膜厚変動の大きさ、接触表面の粗さなどに適した膜を形成するグリースを開発する指針となる。すでに本研究の研究協力企業で実用化されたグリースもある。

現在、日本の重要な産業である自動車においては、電気自動車やハイブリッド車などを含む電動化が避けられない状態にある。電動化による低騒音化に伴う車内の静粛化は、1台に100個以上使用されているモータ周りの騒音低下を必須とする。転がり軸受の転動体接触

部においてグリース増ちょう剤の影響による膜厚変動は振動騒音の原因であり、本研究は長寿命を実現しつつ静音化するためのグリース開発に活用できる。また、世界で消費される電力の50%は、モータによるものである。工場での動力用から家庭のエアコン、PCの冷却ファンに至るまでの多くのモータが使用されているが、これらの多くは転がり軸受が使用されており、グリース性能向上による回転抵抗低減、故障減少はエネルギーや資源問題の解消に寄与するものである。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで弾性流体潤滑下での潤滑油・グリースの挙動について研究を行ってきたが、本補助事業により、従来は設定できなかった広範囲な条件での試験が可能になり研究の可能性が広がった。これ以外にもレオメータによる粘弾性計測、軸受トルク試験等を研究室において実施できる体制が整い、今後さらなる研究の推進を行えるようになった。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

##### 1. Sliding Behaviour of Entrapped Grease Film

Hiroshi Nishikawa, Takashi Higashijima, Malaysian International Tribology Conference MITC2021, July 5-7 2021, Langkawi Island, Malaysia (発表決定)

##### 2. Entrapped Grease Film Behavior under Sliding Motion

Hiroshi Nishikawa, 7th World Tribology Congress, WTC 2022, July 10-15, 2022, Lyon, France (発表決定)

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1) 補助事業により作成したもの

該当なし

##### (2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 九州工業大学(キュウシュウコウギョウダイガク)

住 所: 〒804-8550

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1

担 当 者: 西川宏志(ニシカワ ヒロシ)

担 当 部 署: 大学院工学研究院 機械知能工学研究系

(ダイガクインコウガクケンキュウイン キカイチノウコウガクケンキュウケイ)

E - m a i l: [nishikawa.hiroshi908@mail.kyutech.jp](mailto:nishikawa.hiroshi908@mail.kyutech.jp)

U R L: <https://nishikawah.wixsite.com/kit-nishikawa/>