

## 機械駆動部と回転ハンドルの同軸配置によるトライボフィルムの簡易官能評価

Simple Sensory Evaluation of Tribofilms with a Coaxial Mechanical Drive and Rotating Handle

ADEKA (正) \*山本 賢二 (非) 古小高 明洋

Kenji Yamamoto, Akihiro Kotaka

ADEKA CORPORATION

## 1. はじめに

摩擦特性の改善は機器の安定稼働や省エネルギー化によるカーボンニュートラルへの貢献など重要な技術要素であるが、その認識はトライボロジー関係者など一部の技術者に留まりがちである。その他多くの技術者、消費者あるいは企業や他組織のリーダーから将来を担う学生など幅広い層によるトライボロジー技術の認知理解は、社会全体においてその効果を高めるためにも重要なアプローチである。摩擦は日常生活の行動に關係する身近な技術分野である。運動や手触りなど知覚できる現象について理解を得やすいが、機械の摩擦損失など計測によって得られる値については理解や説明がより困難となる。著者らは数十年にわたり金属摩擦を低下させる潤滑添加剤の研究開発に携わってきたが、その効果は機械による計測によって得られる数値で説明される事が殆どであり、摩擦力低下の知覚は為されてこなかった。一つの技術的な要因は、金属間摩擦を低下させるモリブデン錯体などの化合物が摩擦表面に十分量の有効成分を生成するために、かなりのエネルギーを要する事にある。この現象を人力による運転で生じさせることは難しく、結果的にトライボケミカル反応を伴う潤滑現象を力として知覚することは困難であった。また、人による知覚に強い必要性が認められなかつた事も技術として普及していない要因と考えられる。近年のカーボンニュートラルに向けた取り組みの中で潤滑技術が改めて注目されつつあり、ESG投資も志向される中で潤滑添加剤の効果の説明の重要性はこれまで以上に高くなっている。これらの状況に対応すべく、低摩擦油の代表例であり近年普及が進む省燃費エンジンオイルの摩擦性能を体感として知覚可能な機械要素の構築を試みた。

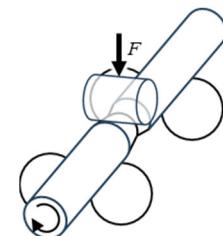
## 2. 実験

## 2.1 摩擦試験機構の基本設計と摩擦条件

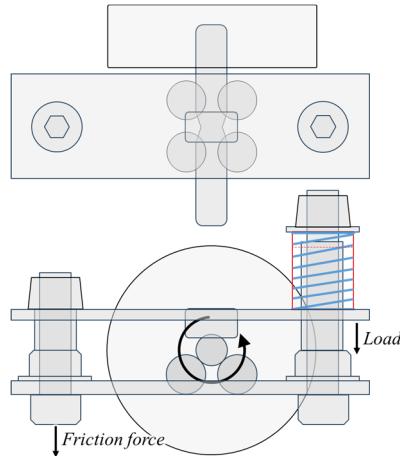
著者らは MoDTC 配合エンジンオイルが数十から数千 MPa の幅広い面圧で摩擦低減可能であることを確認しており<sup>1)</sup>、摩擦要素設計にあたり面圧の制約はないと考えた。摩擦部の機構を Scheme 1 に示す。単純な駆動形式として回転運動を選択し、接触部材には過去の知見を活用しやすい軸受の転動体を用いることで材料の安定性も確保した。また、簡便に高精度で接触させるために、点接触形態を採用した。回転部はその保持の容易さから円柱形状の軸を選択し、下部四点を球による支持、上部から直交する円柱で回転部に荷重を与える機構を採用した。また軸方向への回転部のズレを防ぐために、回転軸に溝加工を施した。全六点のヘルツ接触面圧が統一されるように軸径、溝加工形状、上部円柱径、下部球径とその位置関係を調整した。荷重についてはばねの圧縮により一定の力を与えつつ、摩耗等によるわずかな寸法変化や回転時の軸プレを吸収できる機構とした。

摩擦機構全体を Scheme 2 に、この機構の摩擦条件を Table 1 に示す。手指で摩擦力を知覚するためには数百 gf が知覚しやすいとの予想の基に、摩擦係数 0.1 の場合の摩擦による回転力が 180gf となるように荷重と機器の保持部までの回転半径を設定した。また軸の回転抵抗を知覚するために駆動部と反対側同軸上にハンドルを設けた。試験機構簡略化のためヒーターは使用しない方式とした。ただし、MoDTC の分解反応による二硫化モリブデン被膜の形成を意図し、試験片に無限体を仮定した Blok と Jaeger の式<sup>2,3)</sup>により摩擦係数 0.1 条件で算出される上昇温度と摩擦による試験片の温度上昇により接触部温度が約 80 °Cまで上昇する条件を設定した。電動機を用いて軸に回転運動を与え、摩擦トルクを外部フォースセンサにより読み取り、摩擦係数に変換した。

なお、摩擦試験後に機器を室温まで冷却し、約 30 rpm にて摩擦抵抗を計測すると共にハンドルの回旋によりその抵抗を確認した。また、摩擦力差の知覚の可否について高校生 17 名によるブラインド試験を行った。



Scheme 1 Frictional parts structure



Scheme 2 Frictional parts structure with load applying elements

Table 1 Friction conditions

| Items                             | Value |
|-----------------------------------|-------|
| Applied load, N                   | 40    |
| Load between cylinders, N         | 38    |
| Load between ball and cylinder, N | 25    |
| Contact pressure, max., GPa       | 2.2   |
| Speed, rpm                        | 1200  |
| Speed, m/s                        | 0.4   |
| Materials                         | SUJ 2 |

## 2.2 試料油

市場から調達し摩擦試験に用いたエンジンオイルの粘度特性および元素分析結果を Table 2 に示す。試験油 1 は汎用の ILSAC GF-6A 適合油、試験油 2 はより厳しい高温耐久性が求められる処方油であり、MoDTC とは異なる化学種のモリブデン化合物が配合されている。試験油 3 は試験油 2 と同じ要求性能を満たす処方であり、低濃度であるものの MoDTC が処方されている。試験油 4 は MoDTC が約 700ppm 配合された省燃費エンジンオイル処方である。

Table 2 Viscometric properties and elemental analysis results of tested oils

| No. | Oil type         | Spec.              | Vis.  | KV, mm <sup>2</sup> /s <sup>1)</sup> |        | VI  | TBS, mPa·s |                      | Concentration, ppm <sup>3)</sup> |     |     |       |       |
|-----|------------------|--------------------|-------|--------------------------------------|--------|-----|------------|----------------------|----------------------------------|-----|-----|-------|-------|
|     |                  |                    |       | 40 °C                                | 100 °C |     | 80 °C      | 150 °C <sup>2)</sup> | Mo                               | Zn  | P   | S     | Ca    |
| 1   | non MoDTC        | GF-6A              | 0W-20 | 43.6                                 | 8.2    | 166 | 8.6        | 2.6                  | 110                              | 840 | 760 | 2,570 | 1,000 |
| 2   | non MoDTC        | GF-6A, dexos1 Gen3 | 0W-20 | 46.0                                 | 9.7    | 204 | 9.2        | 2.7                  | 320                              | 880 | 760 | 1,960 | 1,490 |
| 3   | MoDTC formulated | GF-6A, dexos1 Gen3 | 0W-20 | 45.7                                 | 8.6    | 168 | 9.1        | 2.7                  | 220                              | 740 | 670 | 2,750 | 1,370 |
| 4   | MoDTC formulated | GF-6A              | 0W-20 | 36.5                                 | 8.1    | 205 | 7.5        | 2.6                  | 690                              | 910 | 810 | 2,520 | 1,300 |

1) ASTM D445, 2) ASTM D4683, 3) ASTM D4951

## 2.3 摩擦試験

試料油について既存のシリンダオンディスクタイプ摩擦試験にて境界潤滑特性を評価した。試験条件を Table 3 に示す。

### 3. 結果・考察

シリンダオンディスクタイプ摩擦試験の結果を Fig. 1 に示す。non-MoDTC 処方の摩擦係数は幅広い温度で約 0.15 となったが、これに対して低濃度 MoDTC 処方で摩擦は半減、省燃費エンジンオイルは摩擦抵抗を半分以下まで低減した。

Figure 2 左に今回作成した試験機構による摩擦試験結果を示す。MoDTC 配合処方では試験後開始後徐々に摩擦が低下し、最終的に前述の摩擦試験同様 non-MoDTC 処方に対して摩擦抵抗が半分およびそれ以下まで低下した。また室温まで冷却後に低速で計測した摩擦係数 (Fig. 2 右) も高速運転中に近い値が確認されており、被膜による抵抗が確認できることが示された。またこの事は、高速運転によって生じたトライボフィルムが低速運転で容易には消費されない事を示唆している。駆動機構を切り離した後にハンドルを手で回旋させたところ、摩擦抵抗として得られたとおりの大きな抵抗差を感じ取る事が出来た。また、摩擦抵抗のみが指に感覚として直接的に伝わるため、その大小のみならず粘弾性的な応答性の差も感じられた。

試験油 1 および試験油 4 を用いて高速運転した試験機構をそれぞれ準備し、ハンドルによる回旋抵抗の差が知覚可能か調べたブラインド試験においては、17名全員が摩擦試験と同じ順列での抵抗差を感じ取る結果となり、この機構が境界潤滑によって生じるトライボフィルムの抵抗知覚に有効であることが示された。

### 4. まとめ

機械駆動部と回転ハンドルを同軸に配置した簡易な試験機構を設計製作した。MoDTC が配合された省燃費エンジンオイルによる低摩擦化が明確に確認されると共に、トライボケミカル反応後に駆動部を切り離して手で回旋する事で摩擦抵抗の知覚も可能である。手で直接駆動する事で摩擦係数の大小以上の粘弾性的特徴も感じ取れるため、トライボケミカル反応の理解や考察にも有効と考えられる。

## 文献

- 1) 山本：エンジン油の環境対応と MoDTC の技術動向、潤滑経済, 584 (2014) 8.
- 2) Blok, H.A., Proc. General Discussion on Lubrication and Lubricants, I.Mech.E., London, 222-235, 1937. doi: [https://doi.org/10.1243/PIME\\_PROC\\_1937\\_136\\_010\\_02](https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1937_136_010_02)
- 3) Jaeger, J.C., Proc. R. Soc. NSW, 76, 203-224, 1943. doi: <https://doi.org/10.5962/p.360338>

Table 3 Friction test conditions, cylinder on disc test

| Items                       | Value    |
|-----------------------------|----------|
| Applied load, N             | 400      |
| Contact pressure, max., GPa | 0.3      |
| Stroke, mm                  | 1.5      |
| Speed, Hz                   | 50       |
| Temperature, °C             | 40 - 120 |
| Materials                   | SUJ 2    |

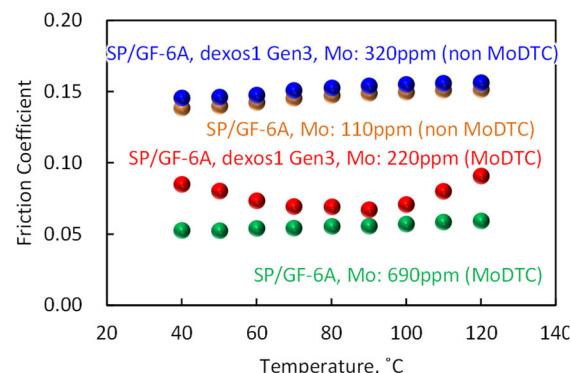


Fig. 1 Cylinder on disk test results

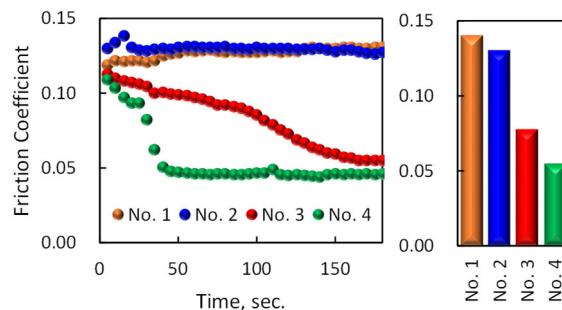


Fig. 2 Sensory friction test results