

## 落球式高圧粘度計の試作と試験評価方法

竹田雄祐\*，里永憲昭\*，渡邊孝司\*\*，園田智之\*\*

\*崇城大学，\*\*（有）D1ケミカル

### Trial Manufacture of Falling Ball Type High Pressure Viscometer and Test Evaluation Method

Yusuke TAKEDA\*, Noriaki SATONAGA\*,  
Takashi WATANABE\*\*, Tomoyuki SONODA\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, SOJO University Faculty of Engineering, Japan

\*\*D1 Chemical Co., Ltd., Japan

著者らはポリオールエステル、ジエステル系と植物油系エステル化合物などを主成分とした独自の還元添加剤(SOD-1Plus)の改良品として新添加剤(SOD-1PN)を開発した。新添加剤は耐摩耗性・潤滑性を高め、せん断の影響を受けにくい高粘度ポリ $\alpha$ オレフィン(PAO)成分を付加して油膜保持性能を向上させ、極圧剤として硫黄と亜鉛の成分を加えて、潤滑膜再生の効果を高めたものである。ところで、軸受の接触面における弹性流体潤滑条件下におけるトライボロジー性能を評価するうえで、これまでの理論的評価手法で用いる粘度圧力係数は一般的な値を適用してきた。しかしながら、EHL評価等においてその結果に疑問を持つケースが時々確認されていたので、その結果の再検証する必要性が生じてきた。そこで、本報において潤滑油の高圧物性を観測するために落球式高圧粘度計を試作して、試験評価方法を検証した。

**キーワード：**落球式粘度計、高圧粘性、粘度圧力係数、トライボロジー、エステル系添加剤

### 1. まえがき

近年の自動車の高性能化に加えて、省資源化と環境負荷低減のため、潤滑油についてはトライボロジー性能向上の要求が一段と増してきている。これらの要求に応える手段として潤滑性能の向上、摩擦、摩耗の低減のためエステル系合成潤滑油が開発されてきた。このエステル系合成潤滑油は有機脂肪酸とアルコールを原料としているが、特にポリオールエステル系合成潤滑油<sup>[1][2][3][4]</sup>が自動車用として注目されている。合成潤滑油は鉱物系潤滑油と比べて、低温流動性、熱酸化安定性に優れ、高粘度で使用温度範囲が広く、潤滑性が良好で清浄、分散性や生分解性など多くの特長を有する。

著者らは各種自動車用潤滑油、産業用機器の潤滑、摩耗、摩擦性能などをより改善するため、二次的合成添加剤としてポリオールエステル(POE)、ジエステル(DST)や植物油系エステル(VOE)化合物などを主成分とした独自に開発した還元添加剤(SOD-1Plus)について、寿命試験機、油膜可視化装置等を用いて性能評価とそのメカニズムを究明してきた。本報告はその性能改善のメカニズムをさらに解明するため、潤滑油の高圧下における粘度変化を観測する落球式高圧粘度計を試作し、観測実験の取組を開始したので報告する。

### 2. 高圧粘性とは

機械において、軸受や歯車の接触面にはヘルツ接触となり非常に高圧となる。そのような高圧下における潤滑油の挙動を観察することは、潤滑油の性能改善のメカニズムを解明するためには必要不可欠である。本研究室では図1に示す可視化装置を用いて直接的に油膜の観測に取組んでいる<sup>[1,2,3]</sup>。

しかし、観測値と理論計算値には乖離があり、その一因は潤滑油の粘度圧力係数 $\alpha$ を、一般的な既知の値( $\alpha=20$ )を用いて算出しているためと考えている<sup>[2]</sup>。よって潤滑油の正確な粘度圧力係数 $\alpha$ を測定する。

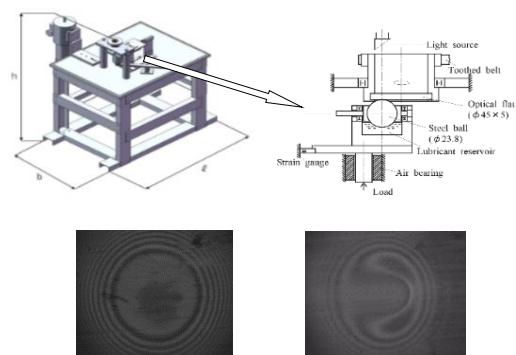


図1 可視化装置概要





## 5. 測定試験

試作した落球式高圧粘度計の性能評価試験を行った。試験条件は試験油温 20°C とし、試料油には 5W-30 を用いた。また、測定は圧力範囲 0.043[GPa]～0.303[GPa]で行った。その結果を図 6 に示す。

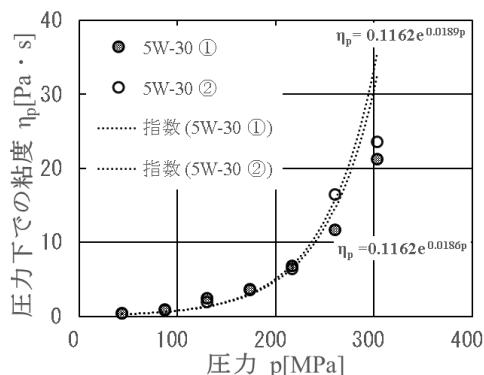


図 6 圧力下での粘度変化

5W-30 における粘度圧力係数  $\alpha$  は  $\alpha=18.7$  であった。

実験では、圧力が高くなるにつれて粘度も指数関数的に高くなり、高圧になるにつれて粘度増加は鈍化した。その原因としては試験油の温度が 20°C であったため、高圧下において試料油が結晶化している可能性があると考えられる。そのため、今後 40°C での試験を行っていく必要性があると考えられる。

高圧粘度試験の 20°C で行った実験結果より求めた  $\alpha$  値を、著者らがこれまで取り組んできた可視化実験における軸受接触面に形成される油膜厚さの理論値に代入し、実測値と比較したグラフを図 7 に示す。5W-30 の理論線と実験値 (○) の値はほぼ等しくなった。

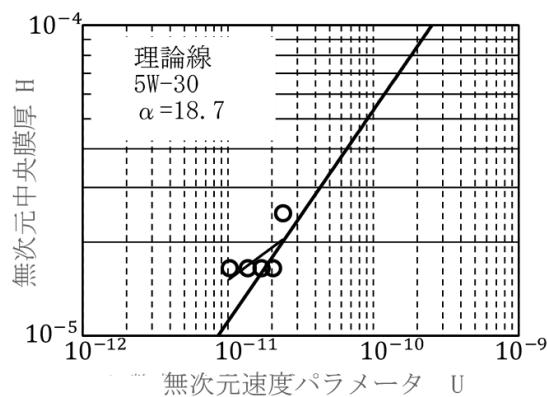


図 7 無次元中央膜厚と無次元速度パラメーターの関係 (20°C)

## 6. 結論

試作した落球式高圧粘度計を用いて、試験油の粘度圧力係数  $\alpha$  を算出することが可能となった。算出した  $\alpha$  を用いることで、潤滑面に形成される油膜厚さの理論値と実測値の差も近いものとなり当初の設計目標を達成している。

## 7. あとがき

試験運用中に熱電対の芯線と被覆の間に高圧になった試験油が入り込み油漏れを繰り返した。現状は板金パテの流し込み方で対応しているが、自動車用水温センサの流用等も検討し、安全性の向上と汎用性を高めていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] 里永憲昭, 渡邊孝司, 竹川秀男: 潤滑油の新還元添加剤による自動車と産業装置における合成油寿命延長の考察, 日本トライボロジー学会メンテナンス・トライボロジー研究会, 創立 30 周年記念シンポジウム予稿集, Paper, p5 (2017)
- [2] 城戸祥成, 里永憲昭, 竹田雄祐, 渡邊孝司, 園田智之: 弹性流体潤滑条件下における新還元添加剤 (SOD-1PN) の挙動と高圧粘性に関する考察, 平成 30 年度日本設備管理学会秋季研究発表大会, 論文集, B2.3, Paper, pp.95-100 (2018)
- [3] 竹田雄祐, 里永憲昭, 渡邊孝司, 園田智之: 転がり軸受の損傷に与える自動車と産業機械における潤滑油新還元添加剤 (SOD-1PN) の寿命効果に対する考察, 第 17 回評価・診断に関するシンポジウム, 講演論文集, 116, Paper, pp.75-80 (2018)
- [4] T. Mawatari, T. Harada, M. Yano, H. Shiomi, S. Obara, N. Ohno : Rolling Bearing Performance and Film Formation Behavior of Four Multiply-Alkylated Cyclopentane (MAC) Base Greases for Space, Applications Tribology Transactions, pp.561-571, 56, 4 (2013)
- [5] 村木正芳: 「図解トライボロジー摩擦の化学と潤滑技術」, 日刊工業新聞社, pp.112-113 (2007)
- [6] 大野信義: 実験装置開発-悪戦苦闘の日々-, “トライボロジスト” 第 58 卷 第 5 号, pp.337-340 (2013)
- [7] 金子正人: 潤滑油の高圧物性(第 1 報)-粘度の圧力, 温度, 密度関係式の導出-, “トライボロジスト” 第 62 卷 第 10 号, pp.654-666 (2017)
- [8] 倉野恭充, 吉田清: 落球式高圧粘度計の試作と性能評価 計測自動制御学会論文集, Vol.28, No.9, pp.1023-1028 (1992)
- [9] 堀野正俊: 「機械工学入門シリーズ材料力学入門」, オーム社, pp.127-129 (1993)