

粘度指数向上剤の分子構造と弾性流体潤滑油膜厚さの関係

Relationship between Molecular Structure of Viscosity Index Improvers and Elastohydrodynamic Lubrication Film

九州大・工(院) 大形 悟

九州大・工(正) *八木 和行 モチュール R&D(正) 新井 克矢

Satoru Ohgata*, Kazuyuki Yagi*, Katsuya Arai**

*Kyushu University, **Motul R&D K. K.

1. はじめに

粘度指数向上剤 (Viscosity Index Improver: VII) は温度に対する粘度変化を抑えるために使用される添加剤である。粘度指数向上剤の構造は分子量数万から数十万程度のポリマーであり、その分子量および構造によって特性が変化する。しかし EHL 下では VII の増粘効果が低下することが指摘されている¹⁾。EHL 下で増粘効果が低下する原因には、高いせん断応力によって Shear Thinning が発生し、局所的な粘度低下が発生すること、高いせん断応力によってポリマーが分断されて低分子量化すること、高い圧力勾配によってポリマーが潤滑面に侵入できず、局所的な粘度低下が発生することが原因と考えられている¹⁾。そこで本研究では、構造の異なる 5 種類の粘度指数向上剤を用意して EHL 下での油膜厚さに与える影響を調べた。

2. 実験装置および実験方法

本研究で使用した実験装置はボールオンディスク型のものである。潤滑面は鋼球とサファイアディスクからなる。実験の際にはトラクション係数と光干渉法による油膜厚さの計測を行った。Table 1 に本研究で使用した潤滑油を示す。VII 添加油の基油は poly-alpha-olefin (PAO) であり、100 °C における粘性係数が 10 mPas となるように添加量が調整されている。実験条件は給油温度 30, 50, 80 °C、すべり率 S は 0 から 1.8、引き込み速度 3 m/s、荷重 50 N (最大 Hertz 圧力 $P_{max} = 1.07$ GPa) とした。

3. 実験結果

Figure 1 に温度およびすべり率の増加による中心部油膜厚さの推移を表す。ここからまず、すべり率の増加とともに膜厚が減少することがわかる。これはすべり率増大による発熱で、潤滑面の粘度が減少したことが主な要因である。また Fig. 1 についてすべり率 S が 0 から 1.8 にかけて膜厚の減少幅は低温ほど大きかった。これは温度上昇による粘度の低下割合が低温ほど大きいためである。以上の傾向は基油および VII 添加油に共通していた。しかしすべり率増大による膜厚の減少幅は VII 添加油の方が大きく、基油との膜厚差はすべり率 0 から 1.8 にかけて縮小した。例えば Fig. 1 よると、給油温度 30 °C の場合、すべり率 0 における OCP と PAO の膜厚差は 60 nm 程度であったが、すべり率 S が 1.8 になるとその差は 20 nm 程度まで減少した。これはすべり率増大に伴う発熱で粘度が減少して基油の場合との粘度の差が小さくなったためと考えられる。

続いて純転がり条件において油膜厚さから入口粘度を推定し定量的な評価を行う。推定式は以下の通りである。

$$\frac{\eta_1}{\eta_0} = \left(\frac{h_1}{h_0}\right)^{1.49} \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_0}\right)^{-0.79} \cong \left(\frac{h_1}{h_0}\right)^{1.49} \quad (1)$$

Table 1 Lubricant oils with viscosity index improver

Name	Base oil	Viscosity index improver	Structure of viscosity index improver	Viscosity index
PAO	Poly-alpha-olefin (PAO)	—	—	146
OCP		Olefin copolymer (OCP)	Linear shape of block copolymer of ethylene and propylene	170
Star		Star polymer (Star)	Star shape with core of cyclohexane having polypropylene	173
SIB		Styrene isobutylene (SIB)	Linear shape of block copolymer of styrene and isobutylene	176
SBR		Styrene butadiene rubber (SBR)	Linear shape of hydrogenated block copolymer of styrene and butadiene	187
PMMA		Polymethyl methacrylate (PMMA)	Linear shape of polymethyl methacrylate	270

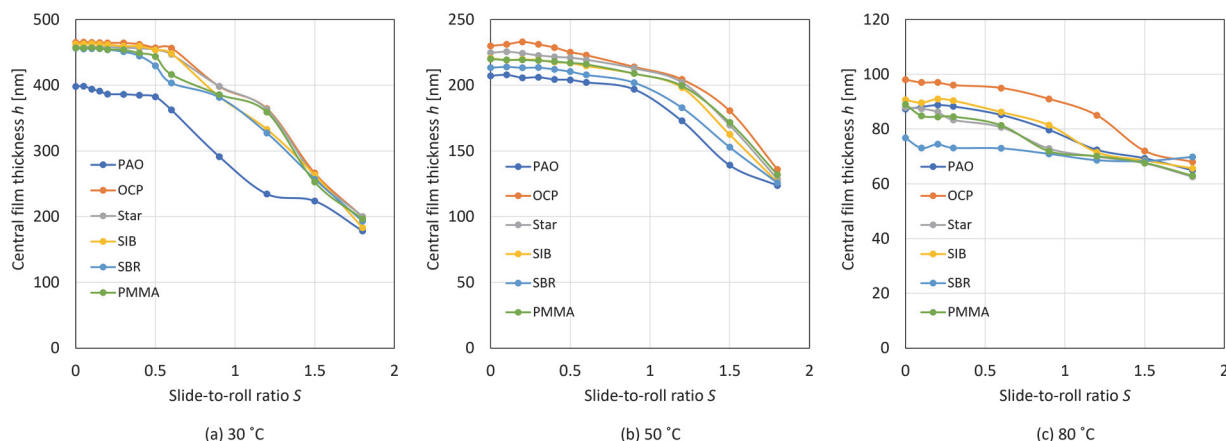


Fig. 1 Variations in central film thickness at different slide-to-roll ratios for different lubricant oils

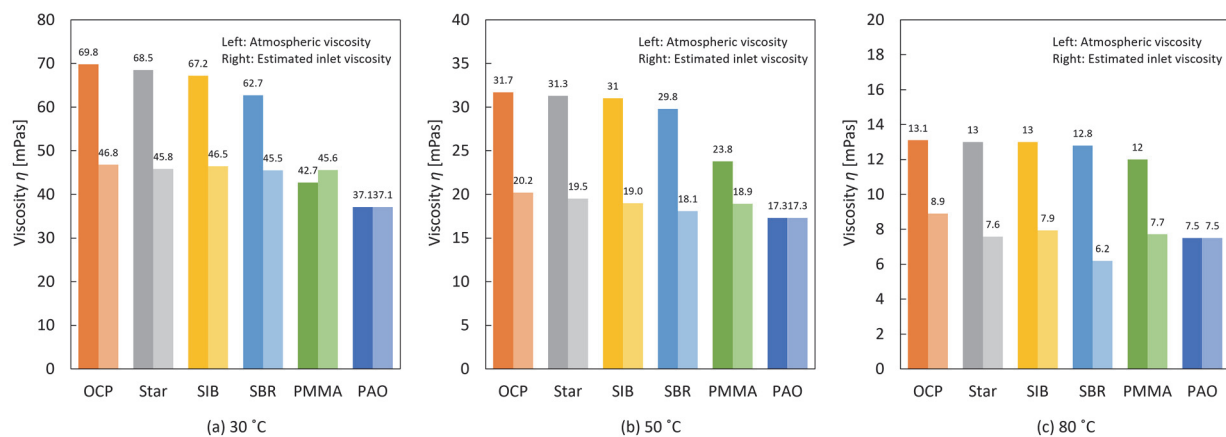


Fig. 2 Atmospheric viscosity and estimated inlet viscosity at different temperatures for different lubricant oils

ここで、添字 0 は基油、添字 1 は VII 添加油を示す。この式は Hamrock-Dowson の油膜厚さ式²⁾を用い、基油の場合と VII 添加油の場合の膜厚比をとって、粘度について解きなおしたものである。式中の圧力粘度係数の比は 1 ではないが、文献 3) p.93 から両者の違いは小さいと考えて $(\alpha_1/\alpha_0)^{-0.79} \approx 1$ と近似した。Figure 2 に計算結果を示す。

給油温度が 30 °C の場合について Fig. 2 より常圧粘度と入口粘度を比較すると、OCP, Star, SIB, SBR で粘度の低下が大きく、PMMA では粘度が低下していないことがわかる。この傾向は文献 3) p.100 の Shear Thinning の起こりやすさと一致しており、30 °C における粘度低下の要因としては入口部での圧力流れが引き起こすせん断による粘度低下が大きいと考えられる。

給油温度が 50 °C についても同様に Fig. 2 より、OCP, Star, SIB, SBR で粘度の低下が大きく、PMMA の粘度低下が小さい傾向が確認された。ただし給油温度が 30 °C の時よりも全体的に粘度の低下幅が大きく、とりわけ SBR の入口粘度は基油に近くなった。

給油温度が 80 °C においては全ての VII 添加油で粘度が低下し、基油の粘度により近づいた。このとき Shear Thinning が起こりにくい PMMA でも粘度が大きく低下したことを踏まえると、入口部でのせん断による Shear Thinning 以外の要因としてポリマーの追い出しが示唆される。ただし OCP の場合は Fig. 1 に示す通り、30 °C, 50 °C のときと同様に基油の 1.1 倍程度の膜厚を示した。このため、OCP はある程度潤滑面に侵入できたものと考えられる。

4. おわりに

本報では、VII 添加油の膜厚と基油の膜厚を比較することで、潤滑面入口部での粘度低下とその原因を考察した。その結果、入口部での粘度低下の原因は低温では圧力流れによるせん断が引き起こす Shear Thinning が優勢であり、高温ではポリマーの追い出しの影響が大きくなる傾向がみられた。

文献

- 1) 平田：潤滑油の粘度特性と粘度指数向上剤, JSPE-56-07 (1990) 53.
- 2) B. J. Hamrock & D. Dowson: Ball Bearing Lubrication, The Elastohydrodynamics of Elliptical Contacts, John Wiley & Sons, New York (1981)
- 3) C. Mary : Physico-chemistry, high pressure rheology and film-forming capacity of polymer-base oil solutions in EHL, INSA de Lyon, Doctoral Dissertation (2014)