

ナノウレアグリースの高圧流動性に関する研究

Study on the High Pressure Rheology of Nanourea Greases

佐賀大・院（学）*山田 耕弥 出光興産（正）中島 聡 出光興産（正）藤浪 行敏

佐賀大・理工（正）馬渡 俊文 佐賀大・理工（正）張 波

Koya Yamada*, So Nakajima**, Yukitoshi Fujinami **, Toshifumi Mawatari*, Bo Zhang*

*Saga University, **Idemitsu Kosan Co., Ltd

1. はじめに

歯車や転がり軸受など転がり要素の接触面においては数 GPa の圧力が繰り返し作用され、潤滑剤の高圧流動性を把握することが不可欠である。本研究では、自ら開発した差動高圧密度計を用いて 2 種類のグリースに対して体積弾性係数の圧力依存性を測定した。

2. 高圧体積弾性係数の測定法および実験条件

Fig. 1 に差動高圧密度計の模式図を示す。従来は単体プランジャ型高圧密度計を使用する。単体プランジャ型高圧密度計を使用する場合、加圧によるシリンダーの変移はテーブルの凹み、プランジャの圧縮など構造体の変形によるものと、試料液体の圧縮によるものにわけられる。構成要素の変形量は予測が困難で密度の測定、とりわけ体積弾性係数の測定に誤差をもたらす。差動方式を採用することで構造要素変移の影響を打ち消すことができる。

同じ試料に対して異なる二つの初期容積で測定を行うことで、圧力による密度の変化を算出する。高圧容積の変化は高圧容器内に鋼製の鋼円柱体を出し入れすることで実現する。鋼の体積弾性係数は約 200 GPa であり、試料である炭化水素液体の 10 GPa 程度に比べてはるかに大きいので、圧力による鋼円柱体の体積変化は無視できる。

以下にその計算過程を示す。試料の圧縮によるプランジャの変移は荷重と試料液体の容積の関数であるが、構成要素の変移は荷重だけに依存する。従って、円柱体なしとありのプランジャの変移 h と h' は次式で表される。

$$h = h_1(W, V) + h_2(W) \quad (1)$$

$$h' = h_1(W, V') + h_2(W) \quad (2)$$

ここで、 $h_1(W, V)$ は試料の容積変化によるプランジャの変移、 $h_2(W)$ は構成要素の変形によるプランジャの変移である。 V は円柱体なしの高圧容積、 V' は円柱体ありの高圧容積である。体積弾性係数の定義により、次式が得られる。

$$dV = -\frac{V}{K} dp \quad (3)$$

加圧によるプランジャの断面積の変化を無視すれば、上式の体積の変化を試料液体容積の変化によるプランジャの変移に置き換えることができる。

$$dh_1 = -\frac{V}{KA_p} dp \quad (4)$$

ここで、 K は試料液体の体積弾性係数、 A_p は、プランジャの断面積である。従って、円柱体なしとありの時の変移差は次式で表される。

$$d(h - h') = d\{h_1(W, V) - h_1(W, V')\} = \frac{V - V'}{KA_p} dp \quad (5)$$

構成要素の変形によるプランジャの変移 $h_2(W)$ が上式の中に含まれていない。無荷重時のプランジャの初期位置を合わせた場合、体積差は次式になる。

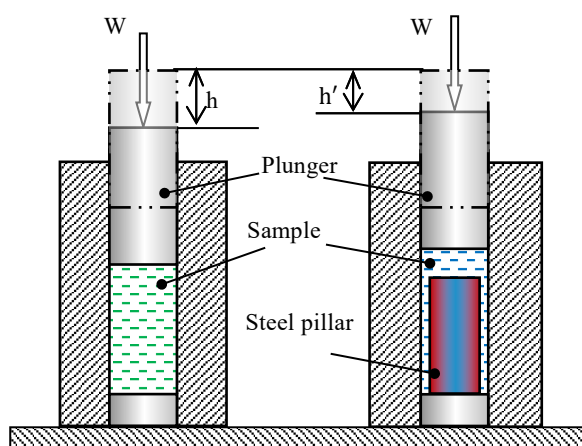


Fig.1 Schematic of high pressure densimeter

$$V - V' = V_c - (h - h')A_p \quad (6)$$

ここで、 V_c は鋼円柱体の体積である．式(6)を式(5)に代入すれば、 K は、次式で与えられる．

$$K = \left(V_c / A_p - (h - h') \right) \frac{dp}{d(h - h')} = (h_c - (h - h')) \frac{dp}{d(h - h')} \quad (7)$$

ここで、 h_c は鋼円柱体の高さである．圧力を変化させ、円柱体なしとありのプランジャ変位 h と h' をそれぞれ測定すれば、上式から体積弾性係数の計算することができる．

本研究では、PAO100を基油としたウレアグリースとナノウレアグリースに対して高圧下での体積弾性係数を測定した．試料グリースの物性を Table 1 に示す．2種類のグリースは同じ化学成分で、同程度の稠度に調製されている．実験は万能試験機の上で-10℃、0℃および20℃の三つの温度で圧力を約1GPaまで連続加圧して行った．

Table 1 Properties of grease samples

	Penetration (25℃, 60work)	NLGI No.	Dropping point (℃)
Urea grease	268	No. 2	261
Nanourea grease	287	No. 2	268

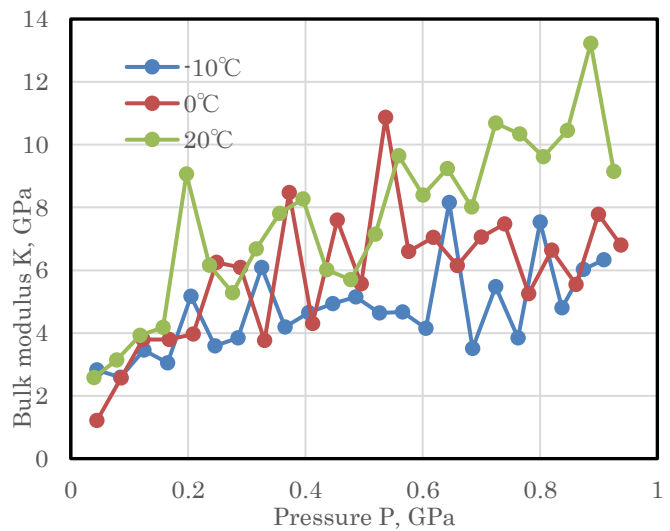
3. 実験結果および考察

Fig. 2 に温度-10℃、0℃および20℃での実験結果を示す．何れのグリースも圧力が気圧から1GPaまで高くなるにつれて、体積弾性係数が約2GPaから約10GPaまでに増加する．高圧下での体積弾性係数に温度の影響はグリースによって異なる．ウレアグリースの高圧弾性係数が温度-10℃、0℃、20℃の順で増加するのに対して、ナノウレアグリースは逆の傾向を示す．これは、ウレアグリースとナノウレアグリースとの構造の違いから起因する．ウレアグリースの場合は、ウレア粒子が大きいいため、粒子間の接触剛性が低い．温度が高くなるにつれてウレアが軟化することで、接触剛性の向上が体積弾性係数の向上に繋がる．一方、ナノウレアグリースの場合は、ウレア粒子が細かく密着しているため接触剛性が高い．温度上昇に伴うウレアの軟化が直接体積弾性係数の低下として反映される．また、全般的に体積弾性係数はナノウレアグリースがウレアグリースより若干高い．理由は温度の影響と同じと考えられる．現在の測定方法では加圧が離散的であるため、計測した体積弾性係数のバラつきが大きい．

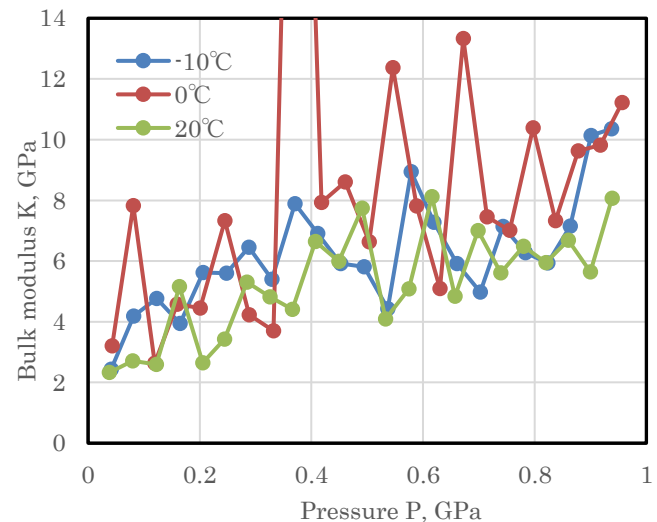
4. 結論

ウレアグリースとナノウレアグリースに対して、差動高圧密度計を用いて、異なる温度での高圧体積弾性係数を測定した結果、粒子の細かいナノウレアグリースはウレアグリースより体積弾性係数が若干高いことが分かった．また、温度がウレアグリースの体積弾性係数を向上させるのに対して、ナノウレアグリースは逆に低下する．

謝辞：本研究は一部 JSPS 科研費 JP24K07290 の助成を受けたものです．



(a) Urea grease



(b) Nanourea grease

Fig. 2 Dependence of bulk modulus on pressure for (a) urea grease, (b) nanourea grease