

## 油圧作動油の状態監視多機能流体センサの開発

Development of a multi-functional fluid sensor to monitor the condition of hydraulic fluid

福井大・工（院）\*野田 有花 福井大・工（正）本田 知己 福井大（正）今 智彦

（株）サンエー（非）山岸 喜代志

Yuka Noda\*, Tomomi Honda\*, Tomohiko Kon\*, Kiyoshi Yamagishi\*\*

\*University of Fukui, \*\*SUN-A Corporation

### 1. 緒言

油圧作動油は、油圧装置の中で動力伝達媒体として使用される流体であり、工作機械などの機械設備に加え、建設機械や航空機、船舶などでも幅広く使用されている。油圧作動油は基油と添加剤で構成されているが、基油が酸化すると、不溶解分の増加やスラッジが生成されるなど作動油の劣化につながる<sup>(1)</sup>。実際に、油圧機器の故障原因のうち作動油の劣化が60%を占めている。そのため、作動油の適切なメンテナンスが重要である。近年、メンテナンス方法として状態監視センサが注目されている。これにより、メンテナンス・コストを削減でき、交換サイクルの効率化が可能であるなど、潤滑油の有効活用と長寿命化に貢献できる。

そこで、本研究では温度ごとに動粘度、密度、比誘電率を同時に測定可能な多機能流体センサの開発を目的とする。その第一段階として、比誘電率に着目する。作動油の誘電率の変化を監視することで、作動油の物理特性および化学特性、劣化の程度、残りの耐用年数の予測などについてより詳細な情報を提供できる<sup>(2)</sup>。そこで、作動油の酸化が本センサの比誘電率に与える影響を明らかにする。また、実際に油圧機器で使用されている他社のセンサと比較しながら検出特性を調べることで、油の酸化挙動とその検出原理との関係を明らかにすることを目標とする。

### 2. 試験装置・方法および試料油

#### 2.1 多機能流体センサ (MFS : Multi-functional Fluid Sensor)

本センサは、温度ごとに動粘度、密度、比誘電率を測定する。動粘度測定部は、動粘度を自然対流熱伝達、密度を伝導率に基づいて測定し、誘電率測定部はくし形電極構造による電流値により測定する。

#### 2.2 流体物性センサ (FPS : Fluid Property Sensor)

本センサ (MFS) と機能を比較するために、他社のセンサである FPS を用いて比誘電率の測定を行った。

#### 2.3 RPVOT 試験および試料油

油圧作動油の模擬酸化油を作製するために、回転圧力容器酸化安定度試験 (RPVOT : Rotary Pressure Vessel Oxidation Test) 装置を用いた。チャンバー内は高压酸素で満たされており、130 °Cで加熱される。そのときの最高圧力からの圧力低下量を任意に変更し、酸化度の異なる試料油を作製した。作製した試料油の詳細を Table 1 に示す。

Table 1 Details of the sample

Sample oil	Hydraulic oil
Change in pressure, PSI	0, 5, 20, 30

#### 2.4 固相抽出法による分離抽出

カラムを用いて、鉱油系作動油から酸化劣化に伴う酸化生成物のみを抽出した。抽出の際には、潤滑油成分を抽出するために無極性溶媒であるヘキサンを、酸化生成物を抽出するために極性溶媒であるアセトニトリルを用いた。

#### 2.5 FT-IR

試料油の酸化に伴う化合物の変化および抽出物の有無を調べるために、フーリエ赤外分光光度計 (FT-IR : Fourier Transform Infrared Spectrometer) を使用した。IR スペクトルは、ピーク高さの差を明瞭にし、定量的に比較するために 1800 から 1500 cm<sup>-1</sup> の範囲では 1800 cm<sup>-1</sup> で吸光度が 0 となるように補正し、C=O 伸縮振動を示す波数域を調べた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 鉱油系作動油における圧力低下量と比誘電率との関係

MFS の 40 °Cにおける圧力低下量に対する比誘電率の変化を Fig. 1 に示す。圧力低下量の増加に伴い比誘電率は増加した。また、酸化により特徴的な変化が現れる波数域を拡大した IR スペクトルを Fig. 2 に示す。1700 cm<sup>-1</sup> 付近の吸光度は C=O 伸縮振動を示すピークであり、圧力低下量の増加に伴い増加していることから、酸化生成物の増加が確認できる。そのため、作動油において酸化生成物の増加が比誘電率の増加原因の 1 つと推察される。そこで、酸化生成物が作動油の比誘電率に与える影響と、酸化生成物の含有量と比誘電率の関係性を調べる必要があると考えた。

### 3.2 酸化生成物添加油における添加量と比誘電率との関係

#### 3.2.1 試料油

カラムクロマトグラフィーを用いて鉱油系作動油の30 PSI から極性溶媒であるアセトニトリルを用いて極性物質を抽出し、作動油の新油に段階的に添加した。作製した試料油の詳細を Table 2 に示す。

Table 2 Details of the sample

Sample oil	Hydraulic oil (new) + polar substance (30 PSI)
Change in concentration, ppm	0, 500, 1000, 2000

#### 3.2.2 抽出の有無

鉱油系作動油の酸化油から酸化生成物が抽出できたかを調べるために、FT-IR を用いて測定した  $1700\text{ cm}^{-1}$  付近の IR スペクトルを Fig. 3 に示す。また、作動油の新油は  $1700\text{ cm}^{-1}$  付近にピークを持つため、 $1700\text{ cm}^{-1}$  付近にピークを持たない溶媒である n-decane に混合させて測定した。その結果、 $1700\text{ cm}^{-1}$  付近に極性物質を添加した試料油のみ酸化生成物由来のピークを確認できた。また、このほかに  $3400\text{ cm}^{-1}$  付近にも極性物質を添加した試料油のみピークが見られたことから、カルボン酸などの酸化生成物が抽出できたと判断した。

#### 3.2.3 実験結果

40 °Cにおける試験結果を Fig. 4 に示す。MFS で測定した結果、添加量の増加に伴い比誘電率は増加したが、FPS では添加量ごとに大きな変化は見られなかった。また、MFS でのみ添加量と比誘電率間で相関関係が見られ、FPS と比較して傾きが約 1 ケタ大きくなかった。これらの結果は、100 °Cにおいても同様であった。

### 4. 考察およびまとめ

構造的観点から、なぜ MFS でのみ添加量の増加に伴い比誘電率が増加したか、また、低濃度溶液 (500 ppm) でも測定できたのかについて考える。センサの感度は構造に依存し、電極間隔が狭くなるにつれて静電容量値とセンサの感度が増加する<sup>(3)</sup>と報告されている。そのため、MFS は電極の間隔がマイクロメートルオーダーであることから、検出感度が高く、低濃度でも検出できた要因の 1 つであると推察する。一方で、FPS は粘度を振動法で測定する構造上、電極間隔がミリメートルオーダーであることから、MFS と比較して感度が低くなったと推察する。また、今回は、作動油の新油に酸化生成物を添加したが、酸化生成物のみの反応性を調べるために、基油に段階的に添加した場合の酸化生成物量と比誘電率との関係性についても調べていく必要があると考える。

### 5. 結言

- 1) MFS で酸化生成物添加油を測定した結果、酸化生成物量と比誘電率には相関関係がみられた。
- 2) FPS と比較して MFS では、低濃度でも検出可能であり、近似曲線の傾きから高感度測定が可能である。

### 文献

- 1) 日本トライボロジー学会編：メンテナンストライボロジー、養賢堂 (2001) 820.
- 2) Darko Lovrec & Vito Tic : The importance of the electrical properties of hydraulic fluids, Industrial Lubrication and Tribology, 74, 3 (2022) 302-308.
- 3) Jacob Wade Craft: Development of Interdigitated Electrode Sensors for Monitoring the Dielectric Properties of Lubricant Oils, Auburn University, (2010) 1-63.

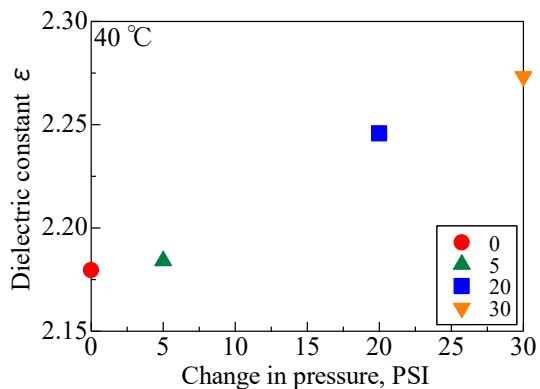


Fig. 1 Relation between pressure and dielectric constant

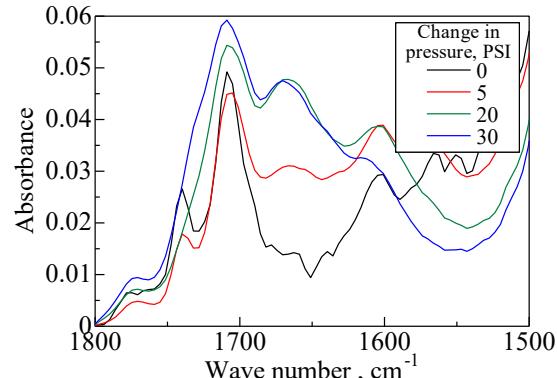


Fig. 2 IR spectra (1800 to 1500  $\text{cm}^{-1}$ )

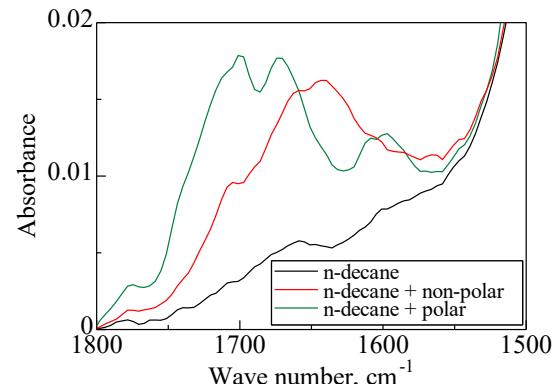


Fig. 3 IR spectra (1800 to 1500  $\text{cm}^{-1}$ )

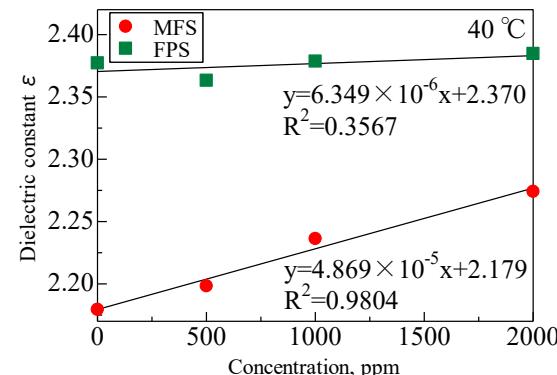


Fig. 4 Relation between concentration and dielectric constant