

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Components

Vol. **22** DI  
March/2011

機能部品事業

■ 技術講座

知りたい油圧講座②

「油圧作動油について」

Things to Know about Oil Hydraulic,  
"Hydraulic Oil"

〈キーワード〉 粘度・粘度指数・酸化劣化・難燃性作動油  
流動性・潤滑性

油圧事業部／技術部

池生 慎一

Shinichi IKENO



## 要 旨

油圧作動油は力を伝える媒体であるとともに、装置が継続し、かつ安定して稼働できるように使用機器を保護する役割や、時には燃えにくいことが要求されるなど、求められる性質は、極めて様々です。何気なく使用している作動油の特徴や、選定・使用する上での注意点などについて、トラブルの事例をまじえて平易に解説します。

## Abstract

Hydraulic oil plays a role as a medium for transferring a power as well as a role to provide protection to the machines and devices so that they can continue to operate in a stable condition. The oil characteristics that are required vary considerably and in some cases the nonflammable oil is required to some equipment. The characteristics of hydraulic oil that are used casually and precautionary points for selecting and using the oil are plainly explained with the examples of past problems in this article.

## 1. 油と油圧作動油

油(あぶら)を売るといって仕事もせずにさぼっている様を想像します。しかしながら、実は油売りは柄杓の中の油が完全に切れるまでの時間を待つ間に、油を買いに来たご婦人と和やかにお話をしていたというのが真実であり、油売り=怠け者という公式は実は当てはまらないのです。

いきなり話がそれましたが今回は油の話です。油圧に欠かせない油のことを油圧作動油(Hydraulic oil)と表現します。油圧作動油の最も重要な役割は、密閉された空間に閉じ込められて、力を伝達するということです。

二つの注射器に油を封じ込め、チューブでつなぎます。片方の注射器のピストンを押すと、反対側のピストンが押し出されて伸びてきます。このとき、油がグリースのように粘着質であったらどうなるでしょうか？ 血圧が上がるほどにピストンを押しても反対側の注射器のピストンを伸ばすのは難しいと思われまます。あるいは、水を封じ込めて、北国の厳寒期にしかも戸外で同じ事を行なうとどうなるでしょうか？ 水は凍り、ピストンは作動しません。さらに、注射器に空気を入れると、ピストンは作動しますが、大きな力を加えると圧縮されて思い通りに反対側のピストンは動きません。つまり、反対側の注射器で思い通りに仕事をさせるために閉じこめる流体は、使用する温度範囲で適度に流動性があり、非圧縮性であることが必要です。

## 2. 様々な機能が求められる油圧作動油

油の性質を上手く利用している油圧作動油ですが、油圧システムが長期間、安定して、力強く作動するために様々な機能が求められます。

### 1) 非圧縮性であること

油圧は動力伝達的手段であり、きめ細かな制御を行ったり、応答性を良くしたり、効率よく大きな動力を伝達するために、非圧縮性流体であることが必要です。

### 2) 適度な流動性(=適度な粘度)

前回お話ししたように、作動油は使用する温度、環境で流動してくれないと困ります。逆にあまりサラサラでも問題があり、金属と金属の摺動部分では油膜を形成して金属の凹凸が直接接触しないようになっていることが望ましいのです。

摺動する二つの物体間の潤滑状態と摩擦係数の関係を表わすスライベック曲線という言葉を知ったことがあると思います。図1にスライベック曲線を示します。横軸には、粘度×速度/荷重(=ゾンマーフェルト数)をとり縦軸に摩擦係数をとると、油膜の厚さに応じて摩擦係数が変化するという考え方です。速度と荷重を一定にとり、粘度を適度な値にすれば摩擦係数はきわめて小さくなり摺動損失が少なくなるのです。使用する圧力や機器によっても異なりますが、一般的には $20\sim 50\text{mm}^2/\text{s}$ 程度が、ポンプなどの機器の寿命を低下させず、配管等の圧力損失をほどよく抑え、且つ油漏れが発生しにくい動粘度となっています。

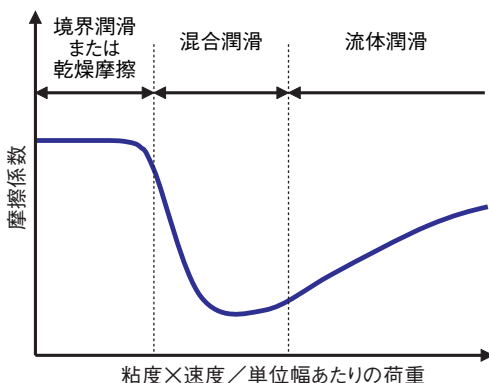


図1 スライベック曲線

### 3) 潤滑性能(極圧潤滑性能)

粘度と同様に潤滑性能は重要です。油圧作動油に含まれる添加剤の成分は、金属(主に鉄系)の表面に皮膜を形成し、お互いにこすれても摩耗しないようにガードする機能があります。この添加剤の有無によって、ポンプの寿命や軸受の寿命、それから歯車の寿命が大きく変わってきます。極圧潤滑性能を評価する試験方法には、押し付けた鋼球を回転させて焼き付き荷重など測定する高速四球試験がありますが、試験結果の方向性が実機での状態と一致しているとはいえません。また、歯車寿命に関わる極圧性の評価に対しては、平歯車の損傷する荷重を測定する歯車試験のFZGステージという値で表現されています。

### 4) 劣化しにくいこと(油の寿命)

油圧が使われる機械は一般的に働き者で、休みなく使われていることが多いので、油が短時間で劣化すると頻繁に作動油を交換しないといけません。そこで作動油メーカーは劣化しにくい基油や添加剤を使用した長寿命作動油を販売しています。自動車のエンジンオイルもその傾向にあり、かつては $3000\sim 5000\text{km}$ ごとに交換していたオイルもいまは、自動車メーカーが推奨するオイルであれば $20,000\text{km}$ 毎などということもあります。これは建設機械でも同様であり、メーカー純正油の推奨交換間隔が長くなる傾向にあります。とはいえ、作動油や添加剤は、温度が高いほど劣化しやすいため、産業機械では油の温度を $60^\circ\text{C}$ 以下にコントロールするのが適切とされています。

5) ゴム、樹脂に対するの適合性

油圧機器にはシールのために耐油性に優れたニトリルゴム(NBR)を使用しています。作動油の種類によっては、ゴムの腐食・膨潤、或いは硬化を引き起こすものがあり、油漏れの原因となります。従って、作動油のゴムに対する適合性が必要になります。

6) 金属を腐食しないこと

作動油に含まれる硫黄や添加剤に含まれる亜鉛などは、酸化劣化などによって銅合金などの金属を腐食させる傾向があります。そこで、銅板腐食試験などの試験方法(ASTM)により、金属の変色を見て、性状を確認しています。変色の度合いによって優れているものから順に1aから4までの数字で表記されており、昨今では販売されている作動油のほとんどが1aとなっています。使用している油圧機器の銅合金が妙に黒く変色しているときは、油の性状や劣化を疑ってみることが必要です。

7) 異物の影響を受けにくい

油圧装置では使用によって摩耗粉が発生することや、空気中の水分や塵埃が作動油に混入することがあります。そのため、これらの影響によって変質しないことも必要な機能です。一般的な鉱物油系の作動油では水分が0.1%wt以上混入すると白濁して作動油としての機能である防錆性や潤滑性が低下してしまいます。水との分離性がよいことや摩耗粉や空気によって酸化劣化しにくいことも作動油に必要な機能となっています。もちろん、過剰な水分や塵埃が混入しないように装置側で対策することや定期的な点検が必要です。

8) 温度変化に対する粘度の変化が小さいこと

(=粘度指数V.I.が高い)

粘度指数は、英語でViscosity IndexといいV.I.と表記し、数値が大きいほど温度による粘度の変化が小さいことを表わしています。通常油圧作動油は100程度です。最近では作動油の精製度が高くなり130程度のものが増えてきました。また、PAO(ポリアルファオレフィン)などの化学合成の基油を使用した作動油や粘度指数を向上するために高分子化合物を合成した作動油にはV.I.160以上のものもあります。基油の精製度は、劣化に影響しないものの、高分子化合物が添加された作動油では、使用によって分子が機械的にせん断され、粘度が低下することがないか、注意が必要です。

9) 燃えにくいこと(難燃性)

一般的な鉱物油系作動油は、燃えるという欠点があります。近くに火気を使用する設備や工場では難燃性の作動油を使用しなければいけないところがあります。また、そうでなくても大量に使用すれば、消防法上の規制対象になる場合もあり、燃えにくい或いは引火点が高いことが要求される場合もあります。

10) 無害であること(対環境性能、生分解性)

11) 防錆性

12) 空気との分離が速いこと(消泡性)

などの性能が求められます。これらは、規格によって評価の基準が定められており、表1のような作動油の評価試験方法がISO規格やJIS規格などの標準に定められています。

表1 鉱物油系作動油の特性及び試験方法 (ISO 11158)

特性(特徴)	試験方法		
	ISO規格	該当JIS規格	
密度(15℃) g/cm <sup>3</sup>	ISO 3675	JIS K 2249	
色	ISO 2049	JIS K 2580	
動粘度 mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	JIS K 2283	
粘度指数	ISO 2909		
流動点 ℃	ISO 3016	JIS K 2269	
引火点	(COC法) ℃	ISO 2592	JIS K 2265-4
	(PM法) ℃	ISO 2719	JIS K 2265-3
酸価 mgKOH/g	ISO 6618	JIS K 2501	
水分 mass %	(ASTM D 1744)	JIS K 2275	
銅板腐食	ISO 2160	JIS K 2513	
泡立ち性(泡立ち度/安定度)	ISO 6247	JIS K 2518	
放気性(50℃) min	(DIN 51381)	—	
水分離性(抗乳化性)	ISO 6614	JIS K 2520	
防錆性	ISO 7120	JIS K 2510	
酸化安定性(TOST)			
1,000h後の酸価 mgKOH/g	ISO 7624	JIS K 2514参考	
スラッジ量 mass %			
シール材適合性	ISO 6072	—	
摩耗試験	1) FZG試験(不合格ステージ)	(DIN 51354)	—
	2) ベーンポンプ試験 ベーン+リング合計摩耗量 mg	(ASTM D 2882)	—

### 3. 作動油の分類

作動油は、図2のように分類することができます。最も一般的な作動油は鉱物油系の作動油です。鉱物油系の油圧作動油の構成は、ベースオイルあるいは基油と呼ばれる精製した油に添加剤を加えたものと考ええると簡単です。最近では、酸化劣化しにくい長寿命作動油が多くなってきました。これは、ベースオイルの精製度を向上して硫黄などの不純物を限りなく取り除き、添加剤は高温でも分解しにくい種類を使用するようになってきたことによります。しかし、まだまだ、価格が高く一般的ではありません。

従来は、難燃性作動油として、水-グリコール系作動油やリン酸エステル系作動油が一般的でしたが、最近では取り扱いが比較的容易で潤滑性に優れた脂肪酸エステル系作動油の使用が増加しています。

生分解性であることや省エネになるというメーカーのPRも増加の一因と思われます。しかしながら、脂肪酸エステル系作動油の耐火性はその他の難燃性作動油に較べると低いので使用する雰囲気には注意が必要です。

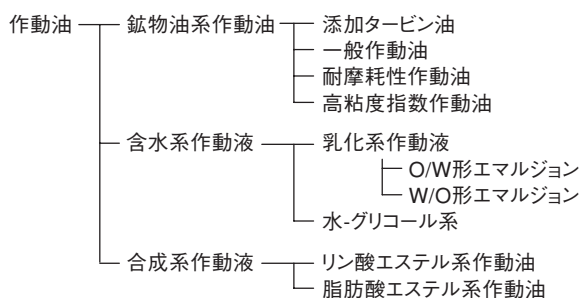


図2 作動油の分類

## 4. 作動油の選定

それでは油圧作動油はどのようにして選定すればよいのでしょうか?油種の選定においては、図3に作動油選定のためのフローチャートを示しましたので、このフローチャートを参考に選定してみましょう。

- 1) 作動油に耐火性が必要かどうか、油圧装置の近くに火気や高熱の有無、または消防法の規制から判断します。難燃性作動油を選定した場合は、使用する温度や油圧システムの圧力によって、作動油の種類を選定します。水-グリコール系作動油は、約40%が水ですので難燃性については優れていますが、水分の管理や潤滑性で劣るのが欠点です。リン酸エステル系作動油は、引火点を有しますが自己消化性があるため、高度に耐火性を求められる際に用います。ただ、ニトリルゴムとの相性が悪く、高価なフッ素ゴムのシールを使用する必要があります。一般的に、脂肪酸エステル系作動油は、鉱物油同様にニトリルゴムを使用でき、潤滑性にも優れるなど取り扱いが容易ですが、耐火性は高くありません。一般的に、脂肪酸エステル系作動油は、鉱物油同様にニトリルゴムを使用でき、潤滑性にも優れるなど取り扱いが容易ですが、耐火性は高くありません。
- 2) 耐火性が不要でない場合は、鉱物油系作動油を使用します。システム圧力が3.5MPa以下であれば、油圧機器のダメージも小さい場合が多いので摩耗防止剤を含まないR&O油を使用することができる場合があります。一般的には使用する油圧機器、とくにポンプやモーターのメーカーが推奨する作動油を使用します。ほとんどの油圧メーカーは、鉱物油系の油圧作動油で潤滑性に優れたものを推奨しています。
- 3) 使用する温度環境を考慮して、油温が低い状態から使用する場合や温度範囲が広い場合には、高粘度指数の作動油を選定します。また、航空機のように-45℃以下の状態で使用する場合には、航空機用作動油(MIL H 5608E)のように極低温でも流動性がある作動油を使用しな

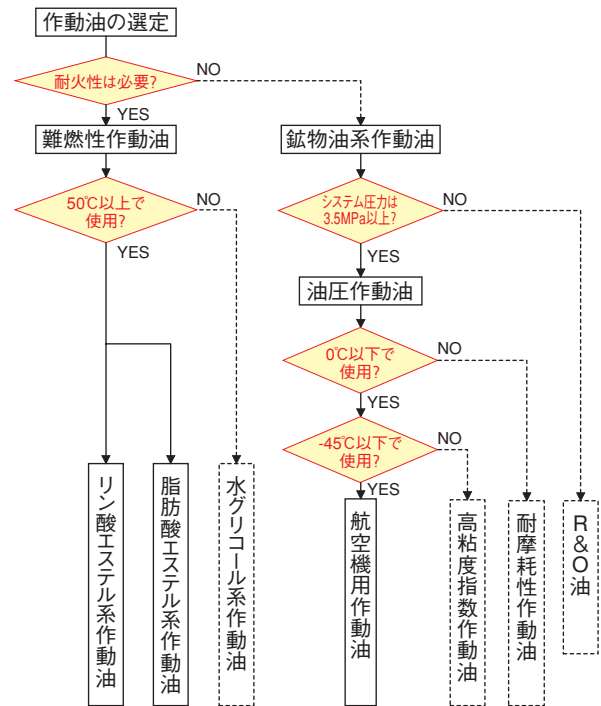


図3 作動油選定フローチャート

ればいけません。

- 4) もし、特別な事情がなければ、実績を重視します。現在、使用されている油圧作動油に問題や不満がなければ、その作動油を使用することを推奨します。
- 5) とはいえ、近年作動油の違いにより省エネが図れる場合もありますので、そうした試みを否定するつもりはありません。ただ、ここで注意したいのは管路の圧力損失が低減できるからとむやみに低粘度の作動油を使用しないことです。ポンプの効率低下や漏れ損失の増大によって、油温が上昇し、結果的に省エネにならないことがあります。
- 6) このチャートでは記載してありませんが、生分解性や、人体に入っても毒性のない食品機械用作動油が必要な場合があります。ただ、油圧機器メーカーでもテストデータがなく保証できないことが多くあります。回転数や圧力などの使用条件について、鉱物油を使用する場合よりも一段下げ、機器にダメージの少ない条件で使用する事が油圧機器の延命策となると考えられます。

## 5. 油の変更は慎重に

油による機器や装置への影響は、時間が経過してから発生することがあります。

作動油のメーカーでは、各種の規格や独自の試験方法により、膨大な試験を実施し、油圧作動油として問題ないと判断を行ない、商品化しているものと思われま。また、機器メーカーは、余裕度を持って機器を設計し、商品化していますが、その試験方法や余裕度が実機の条件と完全に一致することはありません。

従って、油圧装置の油を別の性状のものに変更するときは、従来の油と何が違うのか、ポンプやその他の油圧機器との適合性は問題ないか、塗料やシールは適当な材質なのか、従来油との混合による障害がないか、よく調べた上で、時には部分的に長期間のトライアルを行なった上で、機器や装置の点検を経て変更することをお勧めします。

## 6. 作動油の敵

作動油にとっての敵とは、油圧機器の敵でもあり、本来の作動油や油圧機器の働きを損なうもので、①空気、②水、③ゴミや異物、④異常高温と異常低温があります。

### 1) 空気

元々作動油には、7~8%の空気が溶解しており、ポンプの吸入圧力の低下や、流速の早いリリーフバルブのタンクポートで気泡を発生させ、エロージョンと呼ばれる金属を浸食させる不具合を発生させる原因となります(図4)。必要以上に空気が混入すると作動油は、白濁して潤滑不良やキャビテーションによるポンプの異常音、シリンダの不規則な動きを招くなど障害が多くなるため、空気を作動油に巻き込まないような配慮が必要です。

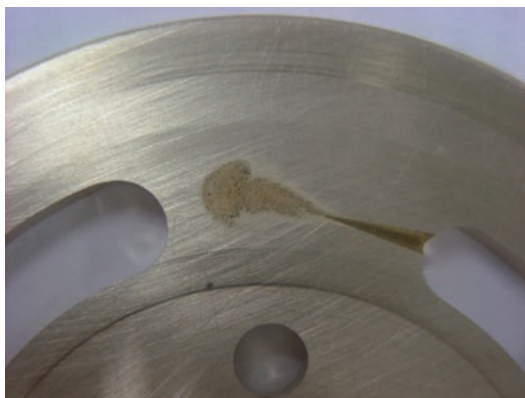


図4 バルブプレートに発生したエロージョン

### 2) 水

水の混入は、油圧機器の錆の発生や潤滑不良をきたす原因となります。水溶性切削液を使用する工作機械や屋外で使用する油圧装置では、油圧作動油に水分が入らないような配慮が必要です。通常、作動油へ混入してよい限界は、0.1wtですが、回路内の作動油が完全に循環しないような装置では更に厳しく管理する必要があります。

### 3) ゴミ、異物

油圧機器は、高精度に製作された精密機械であり、薄い油膜を介して金属同士が摺動しています。この隙間に異物が入り込むと摺動面を傷つけるのみならず、さらに摩耗粉を発生させてしまいます。異物についての詳しい説明は、メンテナンス編に譲りますが、油圧機器のトラブルの約半数がゴミや異物によるものとなっており、作動油中の異物の濃度を管理することが重要です。

#### 4) 異常高温と異常低温

異常高温は、作動油の劣化を促進します。作動油が劣化すると、動粘度が低下し、機器の摩擦が増大します。また、シールが硬化し、油漏れを招く恐れがあります。従って、作動油の温度が異常に上昇しないようにすることが必要です。

異常低温は、作動油の動粘度を増大させ、ポンプの吸い込み不良や作動油と気泡の分離

性能(消泡性)を低下させるなどの弊害をまねきます。従って、ヒーターを設置し、油温を上げるなどの対策が必要な場合があります。このように適度な温度で使用するようコントロールすることが重要です。

## 7. 油圧装置にとって油の意味

油の特性を知り、上手に油を選定し、油圧装置とつきあうことで、機器の寿命を伸ばし、省エネを図ることができます。

油圧装置にとって油はなくてはならないもので、私たちが人との付き合いの中でお酒が重要なように、金属同士の摩擦を軽減し、時には冷却し、強力にシリンダやモーターを駆動します。

油の特性を考慮し、現在の油圧機器が設計されており、新たな作動油に即座に対応できるものでは

ありません。しかし低炭素社会に移行するためには、今後益々新たな作動油が求められ、エネルギー損失が小さくなる新たな作動油や地球環境を守るものが出てくるものと思われます。私たち油圧機器メーカーは、地球環境を守るために、そうした新たな作動油に対応できる機器を開発し続ける責務を負っていると申します。

#### 参考文献

- 1) 吉田俊男・ENEOS Technical Review 46(3) (2004)
- 2) JISハンドブック 石油2008
- 3) JCMAS P041 建設機械用油圧作動油規格