

建設機械用油圧作動油規格の最新動向

Latest Trends in the Hydraulic Fluid Standards for Construction Machinery

GS カルテックス（正）*浜口 仁

Hitoshi Hamaguchi*

*GS Caltex Corporation

1. はじめに

建設機械（以降「建機」と略称）には、油圧システムが多用されているが、使用環境が過酷なため、建機用の油圧作動油には設備機械用とは異なる性能が求められる。そのため、JCMA（日本建設機械施工協会）では、建機用油圧作動油規格を制定している。とりわけ近年は、地球環境問題や温暖化に配慮した作動油規格の制定に向けて活動しているので、これらの状況につき解説する。

2. 建機用油圧システムの特徴

建機をはじめ、農機、林業機械など屋外で移動・作業する機械に装備される油圧システムは、主に工場などの屋内で使用される産業用設備機械の油圧システムと比較して、様々な面で使用環境・条件が異なる。設備機械と建機との使用環境・条件の差異と、それに伴う建機用作動油に特有の要求特性をまとめて Table 1 に示す¹⁾。とりわけ、建機用作動油には、高圧域での潤滑性（耐荷重性、摩耗防止性）や、低温～高温域での使用を可能とする粘度・温度特性、熱・酸化安定性、消泡性・放気性、湿式ブレーキに対応する適切な摩擦特性などが、設備機械用作動油に加えて要求されるという特徴がある。

3. 建機用油圧作動油の JCMA 規格

油圧作動油の規格としては、ISO（国際標準化機構）が定める ISO 11158 が認知されており、その中で HV 分類（耐摩耗性と粘度温度特性を強化した作動油）が建機への適用を推奨されている。しかし、ISO 11158 が規定する油圧ポンプ試験は、定格圧力が 14 MPa のペーンポンプでの評価であり、建機の過酷な使用条件が反映されていないとの判断のもと、JCMA では、主要建機メーカー並びに油脂関連メーカーなどが参画する機械部会・油脂技術委員会にて、高負荷条件で使用される建機の油圧システムの信頼性を確保する油圧作動油規格を開発し、2004 年に Table 2 に示す 2 油種 4 カテゴリーを制定した²⁾。なお表には、主だった項目のみ記載している。

4. 環境対応型油圧作動油規格

建機をはじめ、農機、林業機械、船舶など屋外で移動・作業する機械の油圧システムから油圧作動油が漏洩すると、土壤汚染、水質汚染など環境に悪影響を及ぼす。そのため、欧州を中心に生分解性潤滑油の使用を義務化する国や地域が増加している。日本では、環境対応型潤滑油の普及が遅れているものの、JCMA では、将来のニーズを考慮して、いち早く、建機用の生分解性油圧作動油規格である JCMAHK を制定した。HKB 規格では、生分解性と、魚類への急性毒性につき、（財）日本環境協会エコマーク事務局が定めるエコマーク商品類型 No.110 「生分解性潤滑油」の規定に沿った合格基準を設定したが、これは欧州の基準との整合性も配慮した内容である。

Table 1 Differences between industrial and mobile hydraulic systems

Items	Stationary Equipment	Mobile Equipment	Specific Requirements for Mobile Use
Key Components	Gear Pump, Vane Pump	Piston Pump / Motor	Lubricity under high pressure
Peak Oil Pressure	7 – 21 MPa	Excavator: 34.3 MPa W. L.*: 42 MPa	
Oil Temperature	30 – 55 °C	-20 – 100 °C	Thermal / oxidative stabilities, Anti-foaming, Air release, Low temp. fluidity
Cooling System	Water Cooling	Air Cooling	
Oil Cycle Time**	3 – 5 Times	0.5 – 1.0 Times	
Brake System	None	Wet Parking Brake	Friction characteristics

*W. L.: Wheel Loader

**Oil Cycle Time = Oil Tank Capacity (L) / Pump Flow Rate (L/min)

Table 2 Outline of JCMA hydraulic fluid standards

JCMA No.	P 041		P 042	
	JCMA HK		JCMA HKB	
Classification	Single Grade	Multi Grade	Normal Climate	Cold Climate
Code	32	46	32W 46W	32 46 32L 46L
Viscosity Index	M**	S*		-
Low Temp. Viscosity	-	S	R***	S
Biodegradability/Toxicity		-		S
Oxidation Stability	S			-
Hydrolytic Stability	-			R
Filterability	S			-
Load Carrying Capacity			S	
Anti-Wear Property			S	
Piston Pump Test		S		M
Vane Pump Test		S		M
Friction Characteristic			S	

*S: Strictly Required, **M: Moderately Required, ***R: Report

5. 地球温暖化抑制へのアプローチ

5.1 建機用油圧システムの効率について

現在世界中で稼働している建機のほとんどは、ディーゼルエンジンを動力源とし、油圧ポンプで発生させた圧力を油圧作動油を媒体として油圧モータや油圧シリンダなどのアクチュエータに伝達し、作業を行う方式を採用している。しかしながら、Fig. 1 に示すように、油圧システムを構成する各要素で体積効率 [η_v] の低下をもたらす内部漏れや、機械効率 [η_m] の低下をもたらす圧力損失、摩擦損失などが発生するため、一般的にはシステムの総合効率は高々 50%程度と報告されている³⁾。

油圧作動油による油圧システムの効率向上を考えると、ポンプや油圧モータなどの摺動部で発生する摩擦損失と、配管内やバルブ絞り部の流路抵抗による圧力損失は、一般的には、作動油の低粘度化が損失低減に寄与する一方、ポンプや油圧モータにおける内部漏れや、油圧シリンダでの油漏れなどによる体積効率の低下は、作動油の高粘度化が損失低減に寄与する。

従って、自動車用エンジン油のように、低粘度化が一義的に効率向上に効果を発揮するわけではなく、適切な粘度・温度特性の選択が重要である。特に、建機のタイプによっても、ポンプの設計や、油圧配管の長さ・ベントの数によって、内部漏れと圧力損失の比重は異なる⁴⁾。

Fig. 2 に示すように、油圧システムの機械効率 [η_m] と体積効率 [η_v] の積で表される全効率 [η_{total}] は、作動油の動粘度に対して山形の曲線を示し、建機の機種や使用環境により、低粘度側にピークが現れるケースと高粘度側にピークが現れるケース、さらに中間のケースなどが存在すると考えられる。また、建機の運転パターンや稼働する地域の気温によっても、油圧作動油の油温は変動し、作動油粘度もその影響を受けて大きく変動することを勘案すると、温度変化による粘度変化が少ない高粘度指数作動油が油圧システムの効率向上に寄与することは容易に推察される。

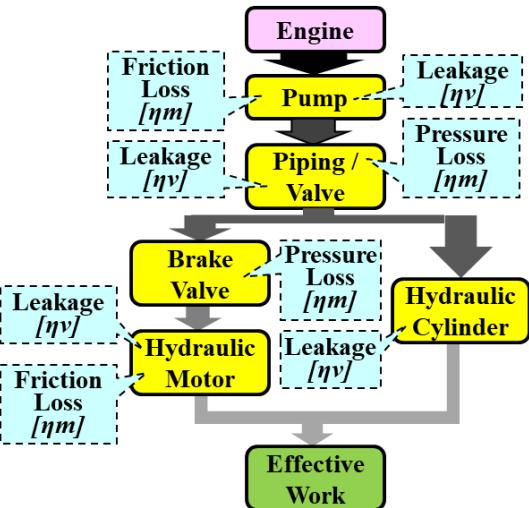


Fig. 1 Energy losses in mobile hydraulic system¹⁾

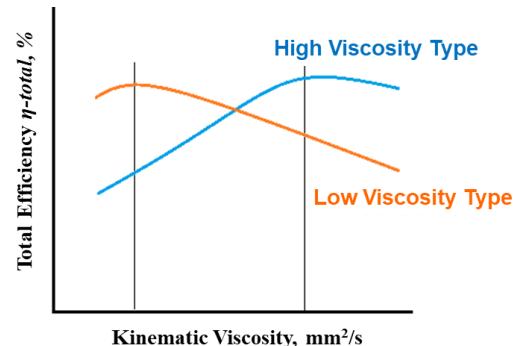


Fig. 2 Relation between viscosity and total efficiency¹⁾

5.2 建機用高粘度指数作動油規格の検討

JCMA 油脂技術委員会では、2013 年頃より作動油による油圧システムの効率向上策を検討しており、文献調査や情報共有を通じて将来の建機用油圧作動油のるべき姿につき検討を重ねてきた。現時点での方向性としては、油圧作動油の高粘度指数化により、低温粘度を下げることで低温作業時の粘性抵抗を低減し、高温時には適正粘度を維持することにより漏れを低減してポンプの体積効率を向上させる方策が有効であるとの結論に至っている。ただし、高分子化合物である粘度指数向上剤を用いる場合、高分子のせん断による実効粘度の低下が起こると、期待する効果が得られないので、作動油のせん断安定性に関しては、実機の条件を再現する厳しい条件で合格基準を設定する予定である。その他の性能項目については、基本的には JCMAS HK 規格を踏襲する方向である。現在、規格値の最終決定を企図して、デモンストレーション油（全ての要求性能を満足する標準油）などによるラウンドロビン試験を計画中で、2022 年度中の規格制定を目指して検討を進めている。

6. おわりに

自動車とは異なり、建機は、重量物を移動させる機能を持つため、車体の軽量化などの方策が効率向上につながらないという特性があるが、例えば、旋回モータを油圧式から電気モータに変更し、制動時に回生エネルギーをキャパシタに蓄積するハイブリッドシステムの導入が進んでおり、油圧中心の機構も徐々に変化する兆候がある。一方、油圧作動油の劣化状況をオンボードセンサーで監視し、テレメーターシステムによりユーザに適切なメンテナンス情報を提供する技術が実用化されつつある。さらには、GPS システムと AI を活用した自動運転による作業効率化の動きも本格化しており、これらの変化に伴う油圧作動油への要求性能の変化についても、今後の動向が注目される。

文献

- 1) 杉山：建設機械に求められる建設機械用油圧作動油、油空圧技術 **61**, 5 (2022) ページ未定。
- 2) S. Ohkawa et. al.: "Development of New Hydraulic Fluids Specifications for Construction Machinery", SAE Paper 2005-01-3574 (2005)
- 3) 杉山：建設機械の油圧システムと省エネルギー、トライボロジスト **51**, 5 (2006) 371.
- 4) 永仮：省エネルギー型油圧作動油、2012 JALOS 環境フォーラム講演要旨集 (2012) 27.