

機械の状態基準保全を実現するオイル分析

—オイル分析による機械状態監視とトラブル解決—

山中 克浩

1 はじめに

弊社は、1983年10月にオイル分析専門機関として設立した。設立当時のオイル分析はオイルメーカーのカスタマサービスが主であった。現在でもオイル分析専門会社は国内で数社のみでニッチな存在である。しかし、資源循環型社会、環境問題、資源枯渇などISO 14001の普及で油のリデュース・リユース・リサイクルが注目されオイルを管理することで設備保全、予知保全、原因除去型保全等でのコスト削減や生産性向上が確認報告され、オイル分析の重要性が認められてきた。従来の油脂管理は使用時間管理が主体で定められた時間が経過すると油交換を実施し油の健全性を担保していた。昨今のISO 14001, SDGs, カーボンニュートラルなど限りある資源を有効活用し資源枯渇に歯止めをかける取り組みが急速に進んでいる。オイル分析で油脂継続使用の妥当性を示すことで、これらの取り組みに多大なる貢献ができる。

2 オイル分析の目的

2・1 オイルは管理が必要

オイルが劣化するとどうなるのか？

オイルの清浄度が悪化するとどうなるのか？

それはオイル管理を怠ると致命的な機械故障に至り生産停止に追い込まれてしまう。

油を劣化させる四大要素として油温、水分、空気、金属摩耗粉がある。これらは油劣化の触媒となるので油への混入や油中発生を適切な管理で抑制しなければならない。油の一般管理基準値として、油温は60℃以下で使用する、(60℃を超えると酸化速度が倍になる)水分値は1000ppm以下にする、(1000ppmを超えると酸化促進と潤滑不良に至る)油中に混入した空気を除去する、(混入による酸化促進と潤滑不良、及び金属摩耗の発生)油中で発生した金属摩耗粉を除去する、(銅、鉄の摩耗粉は酸化を促進させ、流体制御部の隙間に侵入し機器停止に至らしめる。)などがあげられる。

油圧設備のオイル250mLをサンプリングして分析すれば未然に機械故障を防止できる。新油の状態を維持

できれば機械安定稼働は可能である。この状態基準をオイル分析で監視しながら保全活動を実施するのが状態基準保全(Condition Based Maintenance: CBM)である。以下に必須分析項目でオイル状態の何が解るのか、必要な管理項目を説明する。

2・2 各分析項目の説明

2・2・1 NAS等級

「National Aerospace Standard」の頭文字をとった略語がNAS等級である。

油中の夾雑物を、5~100 μ m以上の粒径測定範囲で定められた粒径分類での試験油100mL中の夾雑物個数を示すものである。粒径分類中、最も高い等級を総合結果とする(表1)。等級は00~12級まで有り、12級が汚染度最大で、それ以上の汚染の場合はOVER 12と表す。一般に、作動油:新油時(ドラム缶内)の清浄度はNAS8級程度である。

通常の一般油圧装置においては、油清浄度をNAS10級程度で抑えることが望ましいとされている。また、7MPa以上の油圧装置においては、NAS9級以下の清浄度が求められている。(但し、サーボ弁使用の場合はNAS7級管理が望ましい。:クリアランスが3 μ m程度のため。)

表1の規格表を見ると、NAS等級上昇で倍々に夾雑物個数が多くなり、油圧部品表面の摩耗も激しくなりクリアランスに侵入する確率も増大する。この夾雑物の中で金属摩耗粉と水分は、油温の上昇で酸化触媒となり作動油は酸化劣化を繰り返す、酸化劣化物が形成される。これらは、重合、凝集を経てタンク底部に堆積する。また、油温の低温時に樹脂状に固体化した酸化劣化物は機械始動時にバルブ等のクリアランスに侵入しバルブスティック等の不具合原因物質となる。NAS等級の粒径分類では、特にバルブやポンプのクリアランスに近い、5~15 μ mの個数監視が重要である。

現在では、コンタミネーションコントロールを徹底することにより、油圧機械のトラブルの8割以上が解消されるという事実が、多くの生産現場で証明され、CBMの基礎となっている。但し、NAS等級での管理は

表 1 NAS1638

粒子サイズ (ミクロン)	等 級						
	00	0	1	2	3	4	5
5 ～ 15	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15 ～ 25	22	44	89	178	356	712	1425
25 ～ 50	4	8	16	32	126	126	253
50 ～ 100	1	2	3	6	22	22	45
100 以上	0	0	1	1	2	4	8
粒子サイズ (ミクロン)	等 級						
	6	7	8	9	10	11	12
5 ～ 15	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
15 ～ 25	2850	5700	11400	228000	45600	91200	182400
25 ～ 50	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
50 ～ 100	90	180	360	720	1440	2880	5760
100 以上	16	32	64	128	256	512	1024



図 1 自動粒子カウンター

現在、アジアでも日本で使用される程度で世界的には ISO 4406 の 4/6/14 μm (C) 以上の粒子径で 1 mL 中の粒子数をカウントして清浄度（スケール番号）を判定することが主流となっている。文中の (C) は ISO 11171 で校正した粒子カウンタ（図 1）で測定した数値の意である。これは、NAS 等級の標準コンタミが製造中止になったことで、あと数年で NAS 等級校正が出来なくなるからである。他にも測定法など諸条件があるが今後は ISO 4406 での測定に移行していくのは確実である。表 2 の ISO 4406 清浄度コードをご参照願いたい。

2・2・2 重量汚染度 mg/100 mL

JIS B 9931 の試験法である。

試験油 100 mL を、直径 47 mm、0.8 μm のメンブランフィルターでろ過し、フィルター上の残留物質量を計測する方法である。NAS 等級や ISO 4406 の粒子カウントとの相関関係はない。夾雑物質量は物質密度で異なるので個数と質量に相関がない。試験法の効果は、固形夾雑物が、メンブランフィルター上に捕捉されるので、顕微鏡観察や写真撮影、蛍光 X 線分析などが可能で物質の推測や特定に役立つ。また、酸化劣化物やバーニッシュ

表 2 ISO 4406

粒子数 N/mL			スケール番号		
<N	N ≤		<N	N ≤	
2,500,000		> 28	80	160	14
1,300,000	2,500,000	28	40	80	13
640,000	1,300,000	27	20	40	12
320,000	640,000	26	10	20	11
160,000	320,000	25	5	10	10
80,000	160,000	24	2.5	5	9
40,000	80,000	23	1.3	2.5	8
20,000	40,000	22	0.64	1.3	7
10,000	20,000	21	0.32	0.64	6
5,000	10,000	20	0.16	0.32	5
2,500	5,000	19	0.08	0.16	4
1,300	2,500	18	0.04	0.08	3
640	1,300	17	0.02	0.04	2
320	640	16	0.01	0.02	1
160	320	15	0	0.01	0

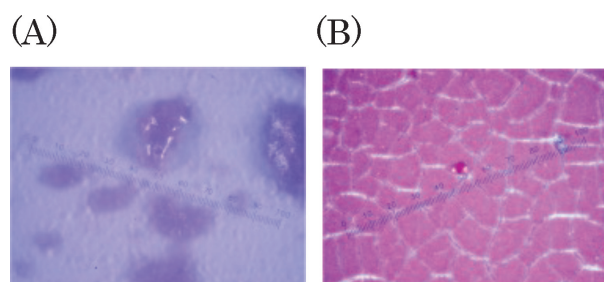


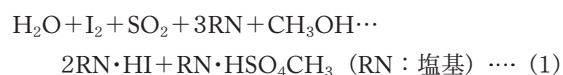
図 2 酸化劣化物の顕微鏡画像

(A) ワニス状の酸化劣化物；(B) 添加剤酸化劣化による変質物。

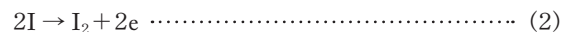
シュ（ワニス）も捕捉されるので、これら 5 μm 以下の NAS 等級個数にカウントされない異物確認、観察に効果大である。一般管理基準値は、低圧の機械で 10 mg/100 mL 以下、サーボバルブ使用で 5 mg/100 mL 以下とされている。酸化劣化物の顕微鏡写真を図 2 に示す。

2・2・3 水分 ppm

JIS K 2275 の試験法である。ほとんどはカールフィッシャー法で測定する。試験法には電量法、容量法、気化法がある。カールフィッシャー法において、水は塩基とアルコールの存在下でヨウ素、二酸化硫黄と下記式（1）のように定量的に反応する。



容量法において、ヨウ素は KF 試薬（力価既知）の形で加えられ、電量法においては下記式（2）に従い、陽極液に含まれるヨウ素イオンの電解酸化により供給される。



発生ヨウ素は直ちに式（1）に従って陽極液に加えた試料中の水分と反応して消費される。双白金電極でヨウ素が消費されたことを検知すると、再び電気分解が行われ

要素が発生する。発生したヨウ素量は「ファラデーの法則」に従って電気分解に要した電気量に比例する。式（1）より I_2 と H_2O は 1 モル：1 モルの反応のため、水 1 モル（18 g）が 96500×2 クーロンに相当、即ち $0.0933 \text{ mgH}_2\text{O}/1 \text{ クーロン}$ となる。したがって水分量は電気分解に要した電気量がクーロンから直ちに換算できる。測定器に投入するサンプル油 1 g 中に含有される水分の量を ppm で表わす。これらの測定は図 3 に示す自動滴定装置を用いて行う。

油圧機械には水分が大敵である。油温の上昇に伴って金属摩耗粉や添加剤と化学反応を起こし、酸化を促進させ酸化劣化物発生触媒になる。一般に新油でも、100 ppm 前後の水分量が存在する。設備ではエアブリーザーから侵入してくる外気や油温上昇に伴う結露現象等により 100～150 ppm 程度の水分は油中に混入している。一般管理基準値は 1000 ppm 以下とされている。

2・2・4 動粘度 mm²/s

JIS K 2283 の試験法である。毛細管式のガラス製粘

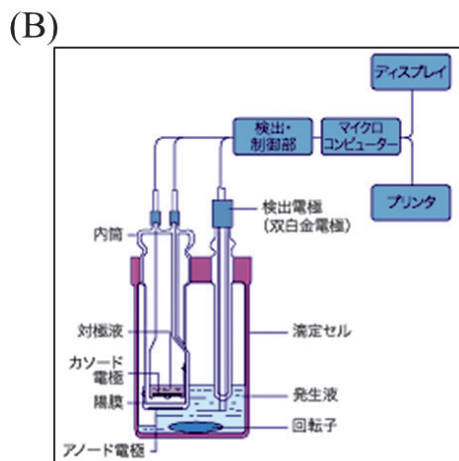
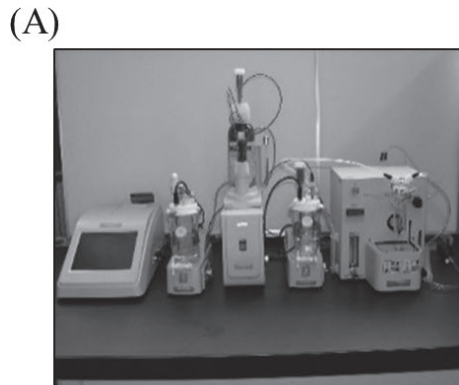


図 3 カールフィッシャー法水分測定装置
(A) 外観図；(B) 測定部構造。

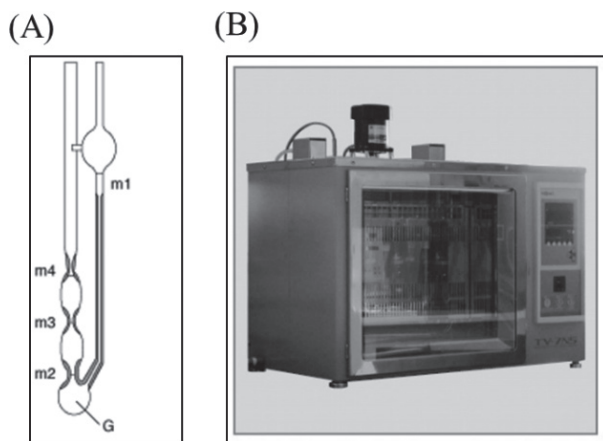


図 4 粘度測定装置

(A) 毛細管式ガラス管粘度計；(B) 粘度計測定用恒温槽。±0.01℃の温度制御が可能である。

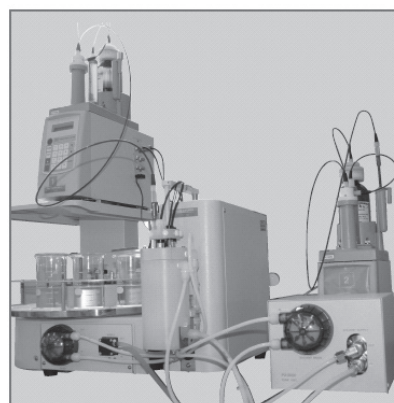


図 5 自動電位差滴定装置

表 3 鉱油系作動油の管理基準*2 (潤滑通信社：ジュンツウネット参照)

項 目	管理基準値	評価の内容
動粘度 mm ² /s 40℃	新油比±10%以内	異種油の混入，作動油の劣化
酸価 mgKOH/g	降下後の上昇値 0.5 以下*	添加剤の消耗度合い，酸化劣化
水分 vol%	0.1 以下または白濁のないこと	水分の混入
汚染度 mgKOH/100 mL (0.8 μm フィルタ)	10 以下 (サーボ系の場合は NAS 8 級)	ごみ，摩耗粉などのきょう雑物作動油の劣化・変質物の生成
色相 (ASTM)	著しく変化のないこと	熱，酸化劣化，異物の混入

* 亜鉛系耐摩耗型作動油の場合

度計 (図 4A)) に一定の試験油を入れ，粘度測定用恒温槽 (図 4B)) 内で試料油を 40℃ に保持し，毛細管内を票線から票線まで落下する秒数を計測する．計測秒数に粘度計定数を掛けたものが動粘度となる．図 5 (A) において，恒温槽内に浸した粘度計の m2 から m3 までの流出時間を測定し，粘度計定数とかけあわせた値が動粘度である．動粘度は油圧機械において最も重要な条件の一つで，その低下によっては機械的摩耗の促進や内部リーク，効率の低下等が問題になっている．粘度の増加によっては，配管内の抵抗増加による圧力損失や発熱，内部摩耗の増加につながる．

粘度変化は酸化劣化物の発生量，異種油混入量等，コンタミネントによる影響が主な要因となっている．一般管理基準値は新油値の±10%以内とされている．

2・2・5 酸価 mgKOH/g

JIS K 2501 の試験法である (中和価滴定)．図 5 のような自動電位差測定装置による計測で，試験油 1 g 中の酸性物質を中和させる KOH (水酸化カリウム) の量を mg で示したものである．酸価の上昇は，油が酸化し酸化劣化物が発生した結果である．但し，その値は油種によって大きく異なる．

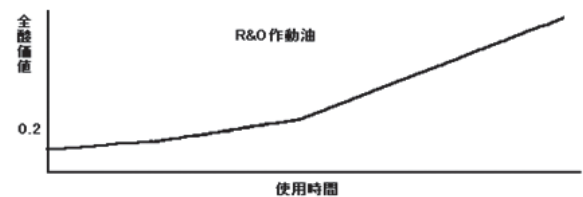
(1) R&O 作動油

新油値の酸価値が一般に 0.2 mgKOH/g より低い性状のオイルで，一般的な油圧装置に使用されている．このタイプの油は，図 6 (A) のように酸化に伴い酸価値の上昇を示す．新油値と分析値を比較することにより，分析値が新油値よりも上昇していれば，酸化が促進し酸化劣化物の発生と判断することが出来る．

(2) 耐摩耗性作動油 (AW 作動油)

従来の AW タイプは，新油値の酸価値が 0.5 mgKOH/g より高い性状のオイルで，一般的には高压油圧装置に使用されていた．このタイプの作動油は図 6 (B) のように，使用後，酸価値が下降して，その後上昇する傾向を示す．これは作動油中の添加剤であるジチオリン酸亜鉛の性質により生じる現象と考えられる．現在は非亜鉛系耐摩耗性作動油が主流なので上記のような傾向はないが，従来設備に亜鉛系作動油を継続して使用している場

(A)



(B)

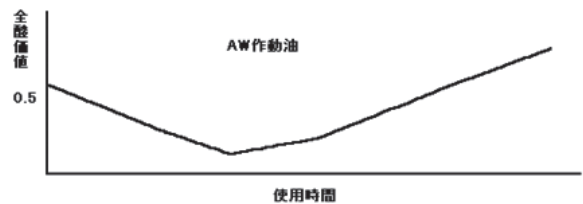


図 6 使用時間に伴う全酸価値変化の概略図

(A) R&O 作動油；(B) AW 作動油．

合があるので注意が必要である．

2・3 鉱油系作動油の一般管理基準値

各種文献には様々な管理基準値が掲載されているが，下記に示した管理基準値は一般的に使用されている表である．オイルメーカー及び機械メーカーも，ほぼ同様の管理基準値を周知している．参考までジュンツウネットで閲覧可能な管理値を表 3 に示した．

3 オイル分析による機械状態監視とトラブル解決

オイル分析を専門機関に依頼する際に依頼方法で困ったことはないだろうか．必要な情報を得るために分析項目はどれを選択すれば良いのか，以下の表 4 で説明する．分依頼先が油脂管理で課題としてる事象をどのような分析項目を依頼すれば解決の糸口になるのか依頼方法を図示した．左側の列に課題として油脂に起こっている事象例を示している．中央列は，その事象の状態を知るための分析項目を示している．右側列は，その分析項目で使用される分析機器を示している．中央列の丸付き数字と右側の丸付き数字はリンクしている．

表 4 オイル分析による機械状態監視とトラブル解決



4 ま と め

機械状態監視と状態基準保全にはオイル分析が重要と述べてきたが、オイル分析だけでは機械の安定稼働を維持することはできないのは御承知の通りである。オイルの清浄度を保つためにはフィルトレーションが不可欠であり、酸化防止には目的に合わせた添加剤入りの油を使用することが求められる。さらに、湿度、油温、水分、空気、金属摩耗粉の監視も重要である。一般管理基準値は参考であって万能な数値ではない。機械装置ごと、油種ごと、使用条件で様々な管理基準値は異なる。オイル

分析を有効な機械状態監視の手段にする為には新油時からの継続分析で、より現場に即した感度の高いオイルからの情報を活用して頂くことを望むものである。



山中 克浩 (Katsuhiro YAMANKA)
東京オイルアナリスト株式会社 (〒329-4423 栃木県栃木市大平町西水代 2531-1)
E-mail: yamanaka@tokyo-oilana.com

会社ホームページ URL :

www.tokyo-oilana.com

関連製品ページ URL :

www.tripl-r.com