

解説

作動油の清浄度センサ

著者紹介

いしづかまさのり
石塚雅規ヤマシンフィルタ株式会社
〒235-0033 神奈川県横浜市磯子区杉田5-32-84
E-mail: masanori_ishizuka@yamashin-filter.co.jp

1996年山信工業（現ヤマシンフィルタ）株式会社入社。2010年東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了。フィルタエレメント・ろ材の研究開発、センシング技術開発に従事。現在に至る。43歳。主幹技師、博士（農学）。

1. はじめに

これまで油圧システムは、高出力化・コンパクト化・省エネ化・多機能化など顧客満足の向上を目的として進化してきた。昨今ではこれらに加えて、環境対応技術の導入やアフターサービスの向上による他社との差別化が精力的に行われている。また、ICT (Information and Communication Technology) の活用も活発に行われており、部品レベルでの遠隔管理や油圧システムの無人化に利用されている。これら新技術を支えるのは「壊れない高い信頼性」であることは、今も昔も変わりはない。

そこで本稿では、清浄度センサを採り上げ、ICT化が進む現代における油圧システムの故障予知手法としての可能性と将来像について解説する。

2. 作動油の清浄度

2.1 清浄度検査の必要性

油圧システムは、各種油圧機器とそれらを繋ぐ配管類および圧力を伝達する役割を担う作動油から構成されている。これを人間の身体に例えると、それぞれ臓器や筋肉、血管や神経、そして血液に例えることができる。人間の場合、定期的な健康診断を受診することで自己の健康状態を把握することができる。その中でも血液の検査項目は非常に多く、身体全体の調子を判断する指標であるとともに、大病に繋がる危険信号を検知することができる重要な検査である。同様の検査は、油圧システムにおいても実施されており、定期メンテナンスやサービスに依る

現場対応を行うことによって、維持・管理されている。

2.2 汚染物質の侵入および発生

作動油自体の改良・劣化対策は日々続けられている¹⁾が、故障予知の観点から観ると、人間の体にウイルスが侵入すると異常をきたすように、油圧回路系内への汚染物質の侵入および発生の防止が重要である(図1)。建設機械の場合、一般的には、製造時に混入・発生した異物を取り除くためのフラッシングを工場出荷前に行い、作動油の清浄度を十分に保った状態で出荷される。しかしながら、運用が開始されると、油圧機器の摩耗や劣化に起因する汚染物質の発生、異種油の誤った追い足しによる作動油物性の変化、および屋外や地下などの劣悪な環境で稼働することが多い場合には、外部から汚染物質が油圧回路系内へ侵入するなど、工場出荷後の作動油の清浄度を保つことは重要なことでありながらも、非常に難しい問題であることがわかる(表1)²⁾。

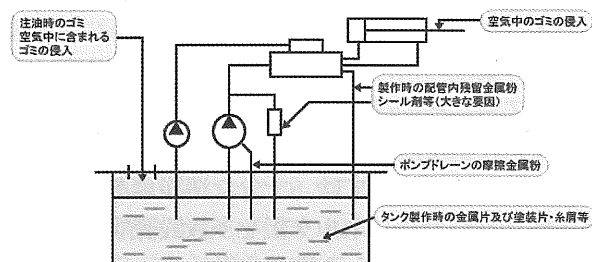


図1 油圧回路系内への汚染物質の侵入および発生

表1 汚染物質の種類

固形粒子

酸化スケール	溶接スラッジ・鍛造スケール・パイプスケール
金属粉	機械加工のバリ・カエリ 機器作動による摩擦粉・溶接時のスパッタ
ケイ砂	鋳物砂・研削粉・大気塵埃
化学物質	パッキンシール材の破片・塗料の剥離等
繊維屑	ウエス・手袋などの剥離屑

液体および気体

水分	大気中の水分(結露など)
異種油	グリース・切削油・防錆油・異種作動油
空気	オイルに混入している空気
その他	油脂劣化による発生スラッジ

3. 作動油の清浄度管理

3.1 清浄度規格

作動油の清浄度を数値評価する規格がある³⁾。油圧システムで常用されるのは、作動油中の粒子数に関するNAS1638とISO4406である。等級のスケールや表記方法が異なるため単純には比較できない。またISO4406では粒子径を3レンジに分けて清浄度を表記するのに対し、NAS1638では原則として1つの数値で表記するため、粒子径分布に関する情報を得にくいなどの特徴がある。ほかに作動油中のきょう雑物質量を測定するJIS B9931も多用される。

3.2 検査機器としての清浄度センサ

NAS1638やISO4406に則り、測定を行う機器として粒子カウンタがある。測定原理は、粒子を含む液体に光を照射することにより発生する光の散乱や陰影を電気信号に変換し、粒子径と個数に換算する方式が主流である。据え置きタイプが主流であり、サンプリングした作動油を分析することにより、油圧システムの状態をある程度把握することができる。また、移動できるようにしたポータブル機やオンラインで測定できるようさらに小型化を図ったタイプもあるが、一般的に高価である。

3.3 故障予知としての清浄度センサ

故障予知を目的として清浄度センサを活用することを念頭に置くと、測定の正確性のほかにいくつか考慮しなければならないことがある。

第1にコストが挙げられる。先述のように、仮に十分な作動油の清浄度を保った状態で工場出荷されたとしても、その後の管理は、定期メンテナンスやサービスに依る現場対応に委ねざるを得ない。これを打開する方策としては、十分な清浄度を得ることが可能な高精度なフィルタ類を多数設置することが挙げられるが、故障した際に作動油中に摩耗粉や切粉が流入してもダストとして捕捉するだけで、故障予知どころか故障を検知することさえできない。したがって、故障予知するためには、個々の油圧機器に清浄度センサを搭載し、常時モニタリングすることが有効である。しかし、清浄度センサは一般的に高価であり、コスト競争が激しい業界においては容易には導入できない事情がある。

第2にリアルタイム性が必要であることが挙げられる。ここで言うリアルタイム性とは、間欠性を持たない常時モニタリングという意味である。つまり、定期メンテナンスやサービスによる現場対応は間欠的であって、サービスを受けた直後は完璧であっても、つぎのサービスまでの間を保障・監視する科学的根拠に乏しい状態となる。この間はオペレータに

よる感覚（動作が不安定、異音がするなど）と、搭載されている異常を検知するセンサ類に頼らざるを得ない（図2）。このような場合に、清浄度センサを搭載し、数か月～数年という中長期的かつ連続的な作動油の清浄度のモニタリング結果を統計処理することができれば、故障に至る前兆を、これまでと異なる清浄度の悪化の傾向として把握することが可能となり、致命的な故障に至る前にメンテナンスを行えるようになると考えられる。また、作動油の清浄度は、環境や動作の内容によって上下動するため判別は難しいが、短時間に想定以上の急激な清浄度の悪化が観られた場合には、即座に油圧システムを停止させるなどの対処が可能となり、損害の拡散を防止することにも役立つと考えられる。

第3に、たとえば昨今の建設機械のICT化による無人化が挙げられる。鉱山などでは、建設機械のICT化が進み、GPSやPCを活用したシステム運用がなされている（図3）。徹底したメンテナンスサービスが実施されていることが多いが、故障予知を目的として清浄度センサを搭載することにより、個々の機体の状態をリアルタイムに把握でき、メンテナンスの頻度やタイミングを管理・運営する際の判断材料としての活用が期待できる。

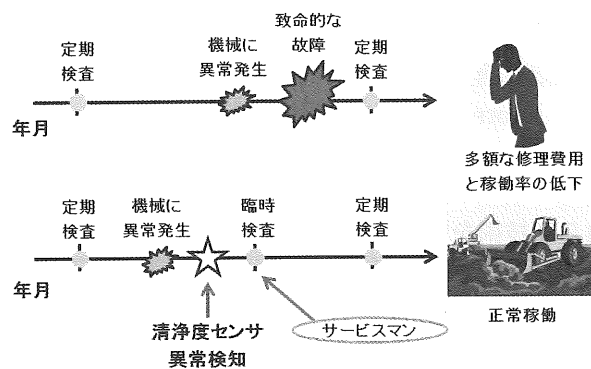


図2 故障予知による重大な故障の回避

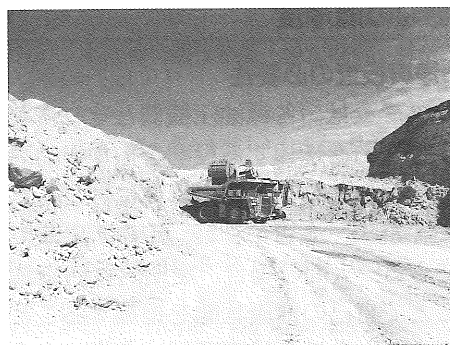


図3 モロッコのリン鉱山

4. 油圧システムの清浄度の現状

一例として、実際に稼働している建設機械からサ

ンプリングした作動油のNAS等級分析結果を示す(図4)。主にパワーショベルについて調査したもので、機種や稼働時間等の条件はさまざまである。

これによると、機体数をもっとも多いのはNAS9級であり、次いでNAS8級、10級が多かった。NAS11級を超える機体数は激減するものの、NAS13級を超える機体も存在していた。この清浄度になると建設機械の何処かになんらかの問題を抱えていることが推察される。筆者の測定では新油の清浄度はNAS7級程度であったことも鑑みると、一般的にはNAS7級～10級程度の清浄度であることが伺われる。

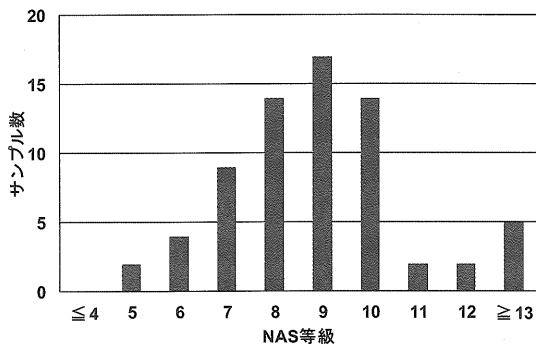


図4 実機サンプリング作動油の清浄度 (NAS等級)

5. 課題

油圧システムに清浄度センサを搭載することを考えた場合、3.3項に挙げたコストの問題に加え、解決しなければならない問題がある。まず、油圧の高い圧力や圧力変動に耐えなければならず、必然的に筐体には強靱性が求められる。つぎに、建設機械のような屋外で稼働する油圧システムの場合、雨風対策や環境温度および作動油から清浄度センサへ伝わる熱などに配慮が必要であるが、一般的な清浄度センサの動作温度範囲は比較的狭いことが多い。また、作動油のキャビテーションやエア吸い込みにより発生する油圧回路系内の気泡もセンシングに影響を与えるため、何らかの対応が必要である(図5)。

加速度10Gを超える振動を伴う場合も多く、この

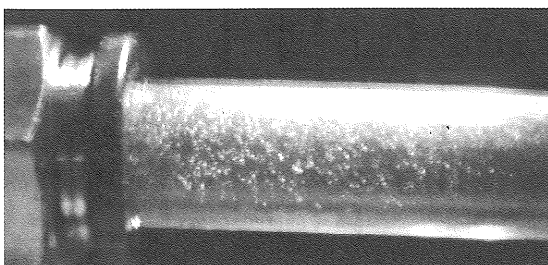


図5 油圧回路系内に発生した気泡

ような振動をしている中でも正確なセンシングを行えるだけの安定性が求められる。さらに、清浄度センサに流れ込む流量が規定され、その流量範囲も狭く限定されていることが多く、流量が大きく変動する油圧回路に清浄度センサを適用する際の障害となる。このような場合には別途、流量制御機器を追加することが一般的であるが、ユーザの立場で言えば、清浄度センサへの流入油量を気にせず済むようなセンサが切望されるであろう。

6. 清浄度センサの将来像

このような現状を踏まえると、故障予知としての清浄度センサに求められる将来像が見えてくる。いかに正確に清浄度を測定しようとも、故障を治すことはできないことを鑑みると、清浄度を測定することに固執するのではなく、故障の危険があることを早期に察知し、大きな故障に発展する前に対処できるようにすることが重要である。

たとえば、図4を例にすると、NAS11級を超える清浄度に達した場合や短期間での急激な清浄度の変化を察知した場合に、建設機械に何かしらの異常があると考え、メンテナンスを即時に行うなどの処置を行えるようにすることである。

これを実現するためにはオペレータに異常を知らせるインジケータの搭載や中長期の清浄度データを統計的に処理して異常を察知し、メーカーからの積極的なサービスを展開できるシステムの構築が必要となるであろう。

7. おわりに

本稿では作動油の清浄度センサとして、主に粒子数計測に関することについて述べた。しかし、より作動油の清浄度についての知見を得るためには、動粘度、酸化度、比重、水分量、きょう雑物量、粒子の種類(鉄/非鉄)などの情報を総合して判断すべきであることは言うまでもない。これら作動油の清浄度および故障予知に役立つ指標についてのセンシング技術が発展し、社会の役に立っていくことを期待する。

参考文献

- 1) 三本信一：フルードパワーシステムを支える油圧作動油の最新技術，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol.38，No. 2，p. 78-82 (2007)
- 2) http://www.yamashin-filter.co.jp/products/oil_filter/index.html
- 3) 実用油圧ポケットブック，日本フルードパワー工業会，p. 242-243 (2008)

(原稿受付：2014年12月5日)