

連 載

トライボロジーにとりつかれた男の遊油ぶらぶらトーク⑭

## 新しい油管理

＝コストの無駄を省き 環境を守るために (パート1) ＝

(株)クリーンテック工業 佐々木 徹

### 1. はじめに

最近、プレヒト作の「ガリレイの生涯」という戯曲を読んだ<sup>(1)</sup>。その作品のあとがきの中で、訳者は「それでも地球は動く」という伝説的な名文句とともに、(中略)無意識的に(中略)ガリレイ像がつくりあげられてしまう。これは一種の先入見というものであろう」といっている。また、戯曲の中のガリレイのセリフに「古い書物に書いてあることではもう間にあわなくなっているんだ」とある。油管理にもこれと同じことが言えると思う。

油管理というと、すぐに「油の浄化」と考える。また、油の清浄度というと、NAS XX級やISO CodeのXY/Zとなる。これは先入見である。油が汚染されると油圧トラブルや潤滑トラブルが発生する可能性が増大することは研究によって明らかにされている<sup>(2)</sup>。NAS等級やISO Codeのような規格は専門家達の苦心の作だから、否定する考えは毛頭ないが、NAS等級はSAEの規格を踏襲して1964年に作られたものであり、ISO Codeは形を変えてNASの規格を踏襲していることは事実である。産業界に生活基盤を置いている我々にとって、これらの規格に準拠した油管理をしても、制御信号と機械の動きとのずれ、サイクル時間や圧力の変動、チョコ停、不良品の発生等の油圧トラブルが起こっているという現実から目を背けることはできない。これはガリレイのセリフにあるように、従来の油管理の考え方や規格が「もう間にあわなくなっている」のかもしれない。一度基本に戻って、油管理を考え直す時期にきているのではないだろうか？

筆者は1997年5月28日から30日までスウェーデンの

リンショッピングで開かれる北欧国際油空圧学会 (SI CFP '97) で「油の清浄度の規格を批判する」という表題の論文を発表する。本稿はこの論文を下敷きにして油管理の目的を考え、油管理の目安になっている油の清浄度の規格が機械のユーザーの要望に適切かどうかを検討することにする。

### 2. 油管理の目的

油管理は単に油代の節約といった小さな問題ではなく、社会的公器としての企業経営の重要な問題の1つである。

#### (1) 企業と環境問題

まず最初に、何のために油管理をするのかを考えて見る。ご記憶の方も多いと思うが、1995年1月に日本経済新聞は「環境の世紀への提案」と題した一連の社説を連日掲載した。それは1995年4月から施行される欧州連合 (EU) の環境管理・監査要綱 (EMAS) や1996年に発効が予定されているISOの環境管理規格を睨んで、読者に環境問題への注意を惹起しようとしたからだと思う。1月10日付の社説 (シリーズ⑦) の一部を引用すると、(21世紀のある年を想定したフィクションであるが)「今年環境倒産件数は五百件を超え史上最高となりました」というショッキングな書き出しで始まっており、「倒産原因として、環境訴訟での敗訴による多額の賠償金や環境関連法規違反での罰金の支払い、消費者の不買運動による売上高の減少など…」と書かれていた。日本経済新聞が書いているのは全く架空の話ではない。これは近い将来に起こりうると識者達が考えていることである。筆者が5年前

に会ったドイツ・ミュンヘンの経営者に、筆者が目指している油管理の説明をし、法学博士号をもっている彼は、「ドイツでは環境に関する法律の制定の準備が進んでおり、これらの法律が施行されると、企業が廃油を出す場合、新油の購入代金以上の廃油処理コストを負担しなければならなくなる。これを無視すると環境保護に消極的な企業ということを宣言するのと同じことになり、企業の存続が危うくなる」と話してくれた(注：ドイツには博士号をもつ経営者が多い)。昨年5月に訪欧したとき、某自動車メーカーの油の担当者から「自動車メーカーは自動車という排気ガス製造機器を製造しているから、環境保護には真剣に取り組んでいる。これ以上環境を汚染させることはできないので、廃油を出すわけにはいかない。ISO14000とは無関係に一般廃棄物や廃油だけでなく、産業廃棄物の発生を最少限に抑えるのが我社の方針である」ということを聞いた。これが環境に対するヨーロッパの一流企業の最近の認識である。

#### (ロ) 油管理と企業コスト

企業にとって油管理が重要なのは、油が汚染されると、油圧トラブルや潤滑トラブルが起こるからである。油圧トラブルや潤滑トラブルが起これば、メンテナンスや修理をしなければならない。その間、その機械設備は計画された生産をできないだけでなく、メンテナンスや修理のために価値を生まないコストが発生する。メンテナンスや修理作業をすれば産業廃棄物も出る。その処理には費用がかかる。すなわち、企業にとって経済損失が発生する。油圧トラブルや潤滑トラブルを予防できれば経済損失は少なく済み、産業廃棄物の発生も最少限に押さえることができる。

#### (ハ) 企業経営の基本に則った油管理

企業経営者が期待する油管理は「経済損失の予防と環境保全」である。ところが油管理というと油の浄化と考えられていることが多い。経営者にとって、油が汚れていようと清浄であろうと、そのようなことは問題ではなく、機械設備が計画通りの製品を計画通りにつくれればよい。すなわち、「白い猫でも黒い猫でもネズミを獲る猫はよい猫」というわけだ。ここでいうネズミとは油中のゴミではなく、企業経営の目的を達成することであることはいままでもない。油を浄化するのは企業経営にとって油管理の目的ではなく、油管理の1つの「手段」にしかすぎない。油管理を実行して

いて油圧トラブルや潤滑トラブルが起こったり、油管理のために生産設備である機械を止めているのは、企業経営者が考えている油管理ができていないからである。企業にとって望ましい油管理は、生産設備の運転に影響を与えることなく、油と機械設備を守るものである。

#### (ニ) 油管理を再検討する

企業経営にとって望ましい油管理を再検討するために、浄油方法を含めて過去の油管理に疑問を呈して見る必要がある。機械のトラブルは機械の潤滑部で起こっているトライボロジー(潤滑、摩擦、摩耗)現象である。筆者は境界潤滑膜(大きな荷重を受ける機械の潤滑部は油という液体で潤滑されているというより、しゅう動する金属部の表面にできる境界潤滑膜で潤滑されている)のうちで、特に油の酸化変質物がつくる境界潤滑膜のトライボロジー現象を研究をしているので、境界潤滑膜が機械の運動に与える影響を少しは知っている。過去1年間にわたり筆者の研究の一部について本誌に連載してきた。トライボロジーは機械工学では機械要素の重要な一部と考えられている。しかし油管理はトライボロジーの基本であるにもかかわらず、油管理というと、企業の幹部や技術者達はあまり興味を示されないだけでなく、時には見下げておられることもある。TPM活動では機械の外側の問題である「整理、清掃、整頓、清潔、躰」を表わす5Sには興味を示しても、機械の内部のトライボロジー現象を起こす要因の排除にはあまり興味がなさそうである。それはトライボロジーや油管理を推進している我々の努力不足、PR不足に主な原因があると反省しているが、「機械のトラブルは機械の内部で起こり、機械の内部の浄化が絶対必要である」ことを、ここで改めて強調したい。

具体的な例で説明すると、読者の皆様は凸凹道の上でF1のスポーツカーを走らせても性能を十分発揮できないことを百もご承知である。機械の内部に汚染物が付着していると、機械のしゅう動面は凸凹道のようにになっている。本誌の1997年2月号で、油の酸化変質物が糊となって潤滑面に他の固形物を付着させ、サンドペーパー状の面をつくっていることを書いたので、お読みいただいた方はお分かりだと思う。そのようなサンドペーパー状の潤滑面を作って、そのような潤滑面上で機械を動かしていながら、機械の性能をフルに発揮させようとしても無理な話である。オリンピック

第1表 溶剤抽出法で調べた油の中の汚染物

試料番号	1	2	3	4	5
石油エーテル 不溶解分	15.3mg/100ml (100%)	13.6mg/100ml (100%)	84.8mg (100%)	37mg (100%)	30.1mg (100%)
トルエン 不溶解分	8.1mg (53%)	4.4mg (32.4%)	32.0mg (37.7%)	12mg (32.4%)	7.7mg (25.6%)
トルエン 溶解分	7.2mg (47%)	9.2mg (67.6%)	53.8mg (62.3%)	25mg (67.6%)	22.4mg (74.4%)
油の使用年数	約2年	約3年	約3年	約3年	約4年

注1：試料番号1と2は定量の油から石油エーテル不溶解分として分離した汚染物を分析。

注2：試料番号3、4、5は静電浄油機で除去した汚染物を石油エーテルで抽出し、油分を除去した石油エーテル不溶解分を分析。

では、ベストのコンディションで、しかも全力を出し切っても勝てるかどうかはわからない。どの企業も世界の企業を相手に、オリンピック以上の激しい生存競争を毎日戦っておられる。企業が生き残るためには必ず競争に勝たなければならない。従来の油管理の手法にこだわっている限り経済損失を出し、環境汚染を続けることになり、競争に勝ち抜くのは困難である。

### 3. 油の清浄度の規格を考える

#### (イ) 油の清浄度の規格が対象とするもの

油管理を行うとき、油の清浄度または汚染度の目安として使われるNAS、ISO、SAE等の規格は油の中の固形粒子だけを対象にしている、粒子のサイズグループ毎の粒子数を計数して、油の清浄度として示している。NAS1638とISO/DIS4406は5ミクロン以上の汚染物を対象にしており、1990年に改訂されたSAE AS4059は2ミクロン以上の粒子を対象にしている。これらのうち、NASとSAE AS4059は航空宇宙産業を対象にしたものであり、ISO/DIS4406は一般産業の油圧作動油を対象にしたものである。何故、同じ航空宇宙産業を対象にした規格のNAS1638とSAE AS4059で粒子のサイズが異なるのかを考えてみると、前者は1964年にできた古い規格であり、5ミクロン以上の粒子を対象にしているが、後者は1990年に改訂された新しい規格で、2ミクロン以上の粒子を対象にしている。後者が2ミクロンまで汚染物のサイズを下げたのは、5ミクロンでは油圧トラブルを解決できないからである。すなわち、従来の5ミクロン以上の汚染物だけを対象にしているのは、航空宇宙産業の油圧システムの汚染問題を解決できないからである。ところが日本では

一般産業用の油圧システムでも、今だ5ミクロン以上の粒子を対象にしたNAS1638が優勢である。一般産業の油圧システムを対象にしたISO/DIS 4406は5ミクロン以上の汚染物を対象にしているのだから、これでやっとならば欧米の企業と肩を並べたと言えるかもしれない。以前どこかに書いたことがあるが、機械は弾性流体潤滑条件または境界潤滑条件で動いていることが多い。そのことを考慮して、弾性流体潤滑理論発祥の国であるロシアでは、約20年も前から0.5ミクロン以上の粒子を対象にしているGOST規格がある。油の酸化変質物という分子レベルの汚染物を研究している筆者にとって、2ミクロンや5ミクロンというサイズは大きすぎ、0.5ミクロンなら何とか我慢できるサイズである。

#### (ロ) 粒子数だけで判定する規格は実用的か？

工場での油管理という観点から、粒子数だけで油の汚染度を判定する規格は実用的かどうかを考える必要がある。油の中の汚染物は5ミクロンや2ミクロン以上の固形物だけでないことは言うまでもないことである。工場で使用する油は、新油ばかりではない。最初は新油であっても、1年2年と長期間機械の中で使用していると、油という化学物質の一部は熱の影響を受けて酸化変質する。そして第1表に示したように、油中の汚染物を集めてトルエンで抽出すると、循環している油の中の汚染物で最も多いのは油の酸化生成物であることがわかる。油の酸化変質物の性質の1つの特徴は、無極性の基油と違って極性をもっていることである。そのため、自由電子がいっぱいある金属表面に簡単に吸着する。我々が分析のために採取する油のサンプルは機械の中を循環している油であり、その中に

染物の集合体である。これだけではまだ実体はわからない。

次に極性の小さいトルエンで抽出すると、油の酸化変質物のほとんどがトルエンに溶けるがトルエンに溶けないものがある。これをトルエンに侵されないメンブラン・フィルタか、遠心分離機を使って、トルエンに溶けるもの（溶解物）と溶けないもの（不溶解物）に分ける。この不溶解物をさらにピリジンで抽出すると、さらに溶けるものと溶けないものに分けることができる。ピリジンに溶けるものは有機金属塩類で、溶けないものは金属の摩耗粉や空気中の砂のような無機物等である。油圧機械の代表例の1つとして射出成形機の油を分析した結果を本誌前号（7月号）の第1表に紹介したが、お読みになっておられない方のために本号でも再録する。

油の中の汚染物のうちでトルエンに溶ける油の酸化変質物の割合は、2年間使用した油では半分近いものが、3年以上使用した油では60%以上になっている。

ここで読者諸氏にご注意いただきたいのは、この分析は循環している油について行ったものであって、油の汚染物という極性物質は金属の表面に吸着されやすい性質があるということである。そのためここで分析した油の酸化変質物は、金属表面に吸着されそとなった残りの部分であるということである。金属表面には高い濃度で吸着されているので、その分を考慮すると、1～2年使用された油の中の汚染物の大半は油の酸化変質物（添加剤の分解物を含む）であると言っても間違いではないと考えられる。もちろん、鑄造工場、セメント工場、鉱山等の特殊環境で使用される油圧作動油中の汚染物は、違った物質であることは珍しくない。

## 5. 油の酸化変質物の挙動

### 5-1 極性をもった油の酸化変質物

前項で述べたように、油の酸化変質物は基油と違って極性をもっている、すなわち、分子中の電子に偏りがある。他方、金属は電気を流し易いことからわかるように、金属の中には自由がいっぱいある。従って、極性をもった油の酸化変質物は金属表面に吸着されやすい（第2図）。修理の経験者ならすぐにわかることだが、バルブ、配管、熱交換器等の中に油の酸化変質物はいっぱい吸着しているのは油の酸化変質物が極性をもっているためである。フィルタの金属部にも吸着



第2図 油槽の壁面に吸着した油の汚染物



第3図 球状に凝集した油の酸化変質物の電子顕微鏡写真

して層を形成し、これが糊の役目を果たして他の汚染物を付着させて、目の大きいサクシオン・ストレーナやフィルタを目詰まりさせる。

本誌5月号で述べたように、油の酸化変質物がバルブ・スプールやスリーブの表面に吸着して、サンド・ペーパー状の表面を作ったときにはバルブが振動を起し、油圧システムの圧力変動を起こして、ひどいときにはスパイク圧を発生させることもある。

### 5-2 油の酸化変質物の凝集

さて油の酸化変質物についてももう少し詳しく考えてみると、高分子化したとはいえ油の酸化変質物は分子サイズの汚染物である。本来なら、このような極性物質は無極性物質と仲がよくないので、極性物質同士が凝集して次第に大きな粒子になるはずである。無極性

ある酸化変質物は金属表面に吸着されたものの残りである。金属の表面に吸着しているものを計算の中に入れると、長期間使用した油の中で最も多い汚染物は油の酸化変質物であると考えて間違いない。前項(二)で説明したように、油の汚染物によって引き起こされるトライボロジー現象は、機械の潤滑面に付着した油の酸化変質物が糊の作用をして固形汚染物を付着させて作ったサンドペーパー状の表面によって起こる。このように汚染物中で最大多数を占め、糊の作用をする汚染物を考えていない規格は不完全であり、必ずしも実用的とはいえない。

(イ) 粒子カウントでわかるもの

粒子カウント法をさらにもう一步踏み込んで考えてみると、NAS1638、ISO/DIS4406、SAE AS4059等はパーティクル・カウンターを使用して、粒子サイズグループの粒子を数える。粒子カウンターの原理は粒子の影を電気信号の強さとして捉えて粒子サイズとし、一定の微小時間内の信号の有無を調べ、一定量の油が通過した時間内に計測された信号の合計から粒子サイズグループ毎の粒子の数として計数する。この方法でわかるのは、おおよその粒子サイズとその数だけであり、汚染物の種類や性質は一切わからない。これは例えていうと、人工衛星から地上の動くものの数を、大きさ別に分類しながら観測しているようなものであり、数はわかってもそのモノの実体はわからない。実体がわからなければ、そのモノが機械にどのような影響を与えるかの判別はできない。そこにこの判定方法の限界がある。

油の清浄度の目安である規格を注意深く読んでも、ただ粒子グループ毎の粒子数が書いてあるだけである。汚染物の性質がわからなければ、その粒子サイズと数がわかっても、その汚染物が油圧機器にどれだけの影響を与えるかはわからないはずである。同じ量の汚染物を添加した摩耗試験1つを取り上げても、粒子の大きさと数が分かっているとしても、それらの硬さ、試験時間、試験機にかかる負荷、試験機の運動速度等が違えば、摩耗のデータは違ってくることから容易に想像がつくはずである。ところがそれらの条件を無視して、固形物のサイズとグループ毎の数だけを基準にした油の清浄度の規格が、油圧機器の使用に耐える限度を保証するものであるかのようにいわれていることがある。それは規格を過大評価し過ぎだと筆者は考えている。

(二) 重量法による測定

油中の汚染物の測定は粒子カウント法だけでなく、化学分析用のメンブランフィルタ、例えば、47mm径の0.8メンブランフィルタを使用して、100mlの油をろ過し、溶剤で洗浄後に乾燥させて、ろ過前後の重量差を汚染物の重量とする重量法もある。

絶対3ミクロンのプリーツ式フィルタで浄油されていた油の分析を某有名企業から筆者が依頼された。その油の粒子カウント法で計数するとNAS5級だったが、重量法で調べると、47mm径の0.8メンブランフィルタで10mlしかろ過できず、しかもその汚染度が6.5mg/10ml前後のものが幾例もあった。この油の分析は弊社だけが行ったのではなく、依頼者も自社で分析された。その結果はどちらもほとんど同じだった。このような例は特に珍しいというわけではない。何故なら、この油は絶対3ミクロンのフィルタで常時浄化されていたので、大きな固形物はなかったが、油の酸化変質が進んでいたため、粒子カウンターでは計数できない高分子化した油の酸化変質した汚染物が多かったからである。このような現実を目にすると、計数法のNAS、ISO Code、SAE等の機械にだけ頼るのは危険だといわざるをえない。何事もひいきの引き出しはよくない。このようなことはNAS1638の規格に予見されており、NAS1638には重量法も並記されている。

(ホ) 油の管理基準

以上に述べたように、規格というのは絶対的なものではなく、一時的なものであり、共通の理解を得るための手段であるにすぎない。それが証拠に、前述したように、SAEは1988年に発表したAS4059(航空宇宙科学用油圧作動油の清浄度仕様書)を1990年に改訂している。筆者はASTMのD-2の小委員会のメンバーとして、ASTMの油の規格改訂作業に参加している。少しは規格の作成や改訂作業を経験している。委員会で規格の内容や文言を議論するが、規格はその時代の知識として知り得た、おおむね共通の認識を基に作られる。従って、必ずしも、改訂作業が行われている時期に既に出ている新しい知識が盛り込まれているわけではなく、少し時間が経過して共通の認識になっている知識に基づいている。最新の研究を知っている者からすると、かなり古い知識が盛り込まれているのは確かである。このような規格は共通の試験方法、試験手順、判定基準を使うことによって、試験結果に共

通の認識を得られるという利点がある。しかしその規格に従ったから、絶対正しい結果が得られるという訳ではないことも明確にしておく必要がある。

今回は油管理の目的と、油管理に使われる油の清浄度の規格についてのべた。次回は油管理を行う上で知らなければならないことを述べる。

<参考文献>

(1) プレヒト「ガリレイの生涯」岩淵達治訳、岩波文庫、1979

(2) ASTM, "Tribology of Hydraulic Pump Testing", ASTM Publication Code Number04-013100-12, 1997

---

【筆者紹介】

佐々木徹

(株)クリーンテック工業 常務取締役

〒140 東京都品川区東大井2-7-7 品川テクノビル4F

TEL : (03) 3740-4141

FAX : (03) 3740-4966

---