

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②

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6)＝

(株)クリーンテック工業 佐々木 徹

兵法で知られる【孫子】は作戦編の中で「用兵の善を知らざる者は、則ち尽く用兵の利を知ること能わざるなり」とあり、謀攻編の中で「百戦百勝は善の善なる者に非ざるなり。戦わずして人の兵を屈するは善の善なる者なり」といい、「彼を知り己を知れば、百戦して殆(あや)うからず。彼を知らずして己を知れば、一勝一敗す。彼を知らず己を知らざれば、戦うごとに必ず殆うし」とある。簡単にいうと、前者は「ある作戦をとった場合の損害を熟知しない者は、その作戦によって得られる利益についてもわからない」ということであり、後者は「戦って全戦全勝しても最高に優れたことではなく、戦わずして勝つことが最善である」ということと、「敵の長所や短所を熟知すると同時に自分の長所や短所も客観的によくわかっておれば戦争をしても負けないが、自分のことはわかっていても敵の力を知らなければ、勝負はどちらに傾かわからない。しかし自分のことも敵のこともわからなければ、必ず負ける」ということである。油管理についても同じことがいえる。浄油機の長所と短所を知らないで使用しては、コストをかけただけの油管理効果が得られない可能性がある。今回と次回の2回に分けて、油管理の手段として使われている代表的な浄油機(フィルタ、遠心分離機、マグネット・フィルタ、静電浄油機)の長所と短所について考えてみる。筆者が勤める会社は静電浄油機のメーカーとして世界的に知られている。そのために読者の中には他の浄油機にケチをつけようとしているのではないかと勘違いされる方がおられるかもしれない。しかし筆者が勤める会社はDHやKFフィルタというフィルタ、ECSという電界凝集

機付の遠心分離機、MSというマグネット・フィルタ、EDCという静電浄油機を販売している。従って筆者はお客様に客観的事実を述べるだけで、他社の製品を批判する意図のないことを事前にお断りしておく。

16. フィルタ

16-1 原理

フィルタは代表的な浄油機であり、ほとんどの油圧作動油や潤滑油の浄化に使用されている。液体の中に不溶解な物質が混在する液体、すなわち汚染液を多孔質のろ過体を通過させようとする、液体はろ過体を通過するが、ろ過体のろ孔より大きな物質はろ過体に捕らえられる。これがフィルタの基本原理である。最近のフィルタは不織布を使うことが多いので、ろ孔は均一というわけではない。液体は抵抗の少ないところを通る性質があり、わざわざ抵抗の大きいところを流れず、ろ孔の大きい部分を流れる。そこに邪魔をするものがあれば固形物は引っ掛けられて捕集される。新油に標準ダストを入れた汚染油を金網でろ過すると、ほぼ基本原理に近い結果が得られるが、繊維質のフィルタを使うと繊維が油との摩擦で帯電して、写真1のようにろ孔よりも小さい粒子でも繊維の表面で静電気で捕集される。このことからフィルタの材質にもよるが、フィルタはろ孔で汚染物を除去するだけでなく、摩擦で発生した静電気で汚染物を除去するといえる。

16-2 使用油の浄化

ぶらぶらトークで何度も述べたように、油は一種の化学物質だから熱によって酸化変質する。そのため1年以上使用された汚染油の場合、油分子の一部が酸化



写真1 ろ紙の表面に捕集された標準ダスト



写真2 金属メッシュ状に吸着層をつくる油の酸化変質物

されているとって間違いはない。そこで酸化変質した油について復習（おさらい）をしておきいた。鉱物油の基油の大部分は無極性だが、油の酸化変質物は極性をもっている。通常、極性をもっているからといってその物質自体は中性であり、分子の中に正の電荷と負の電荷の重心が一致しない、すなわち、双極子を持つ。言い換えると正負に分極した部分がある。金属のできたフィルタやサクシオン・ストレーナの場合、金属は電気を流すことからわかるように、金属の中には自由電子がたくさんある。その自由電子と酸化変質した分子の正の分極部とが電気的に引き合っ、油の酸化変質物は金属表面に吸着させられ第一層ができる。しかしまだ金属面の双極子モーメントの影響力が強いので、その上に写真2のように次第に厚い膜を形成する。このような膜の形勢は金属面の影響と油の流動による表面での洗浄とのバランスが均衡するところまで続く。高分子化した油の酸化変質物は粘着性が高いため、ろ過体の目より小さい固形物が粘着膜に接触すると、写真2の黒い部分のように糊付けされる。

繊維の場合には、すでに述べたように油と絶縁性の繊維との間で摩擦電気が発生し、静電気力で絶縁性の高い物質粒子を写真1や写真3のように付着させる。この現象は摩擦で静電気が発生したエポナイト棒を紙片に近づけると紙片がエポナイト棒に付着するのと同じである。写真1の付着と写真3の付着には大きな違いがある。この点をもう少し考えてみる。

新油の中に標準ダストを入れて行う実験では、標準ダストの表面には油が濡れ現象で付いている。このような標準ダスト同士は油を介して互いに凝集すること

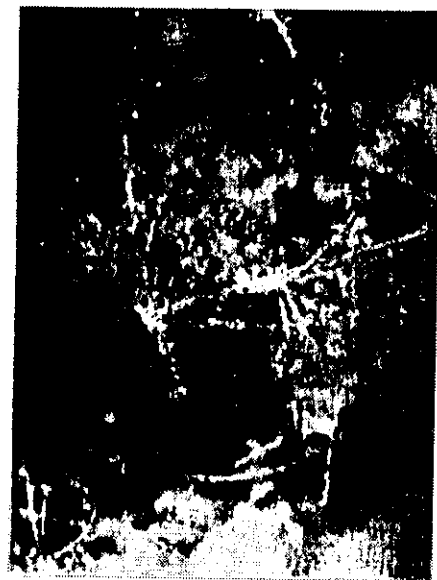


写真3 繊維表面に捕集され樹氷のようになった油の酸化変質物

があっても、個々の粒子同士の相互作用はほとんどない。ところが油の酸化変質物の場合、最初は個々の独立した粒子（分子の塊）であっても、凝集することによって分子同士が相互作用で絡み合う。写真2や写真3はこのことを示しており、特に写真3から繊維の表面に油の酸化変質物が付着し、樹氷のように成長している様子がわかる。

そのため酸化変質物ができた使用油をフィルタで浄化する場合、フィルタで捕集された粘着性の高い酸化変質物同士が凝集し、分子間の相互作用で成長して吸着膜を形成する。この吸着膜が繊維等の他の汚染物を付着させて捕集し、さらに油の酸化変質物が捕集された繊維の上で樹氷のように成長するという現象が加わ

る。そのため、油の酸化変質が進んだ油をフィルタで浄化する場合、予想以上に早く目詰まりすることがある。油の中にグリースを少し混ぜて実験すると、フィルタの目詰まりが早くなることはこのためである。ベアリングに詰められているグリースを灯油で洗って、その灯油をフィルタで浄化するとすぐに目詰まりすることを経験された方が少なくないと思う。

16-3 フィルタの長所と短所

フィルタには深層フィルタとプリーツフィルタがあるが、いずれのフィルタもワンパスで汚染物を除去する効果が高いことはよく知られている。深層フィルタは小さい流速でしっかりと汚染物を除去し、プリーツフィルタは大きな表面積を利用して、早い流速で汚染物を除去できる。これは他の浄油機と比べて優れたフィルタの長所である。

どんなものにも長所があれば短所がある。フィルタの短所の1つは油という誘電体（伝導電子をもたず、導体のように電気を流さない物体）との摩擦によって摩擦電気が発生することである。ほとんどの目の細かいフィルタは繊維でできており、その繊維も誘電体である。従って、誘電体同士が摩擦すると静電気が発生することは科学のABCである。誘電体は電気を流しにくいので静電気が蓄積される。蓄積された静電気は火花放電を起こして電気を失う。火花放電は金型加工に使う放電加工機からもわかるように金属でさえ削る力をもっている。その温度は光が青白い色をしていることからわかるように、1万度に近い高温である。

油の分子が局部的ではあってもこのような高温にさらされると、分子はせん断され酸化防止剤があっても酸化変質される。これを避けるにはできる限り単位時間当たりの流量やフィルタの単位面積当たりの流量を少なくし、油やフィルタの帯電、すなわち、摩擦電気の発生を少なくしなければならない。

フィルタはろ過体のろ過孔を利用してふるい分けるものであり、ろ過孔より大きい固形物をブロックし、液体やろ過孔より小さい固形物を通過させる。従って、本来ろ過孔より小さい粒子は除去できない。これはフィルタの短所というより、フィルタの限界である。油のように粘性の高い液体を浄化する場合には、フィルタのろ過孔を際限なく小さくすることはできない。汚染油の中に酸化変質物がある場合には、ろ過孔のサイズだけでなくろ過体の表面に吸着した粘着性の高い膜に

よっても汚染物を捕集することができるが、これは目詰まりを促進させ短所となる。

この項をまとめると次のようになる。

- フィルタの長所：ワンパス浄油効果が高い。
- フィルタの短所：フィルタのろ孔より小さい粒子は除去できないことと摩擦電気の放電で油が劣化すること、さらに酸化油では目詰まりがはやい。

16-4 読者からの質問への回答

読者の中に油に詳しい方がおられて、油圧作動油には帯電防止剤が入っているのに油圧作動油はフィルタでろ過しても帯電しないのではないかと質問をいただいた。

これについて結論から言うと、油の中に帯電防止剤が入っていても、油やフィルタの帯電は起こる。摩擦があれば摩擦電気は起こる。帯電防止剤は摩擦電気を起こさないようにするものではなく、摩擦で発生した電荷を早く消滅させる（緩和時間を短くする）ためのものである。摩擦電気が続いて発生しない場合に帯電防止剤は確かに有効である。しかし摩擦が連続して起こる場合には、発生する摩擦電気の量と消滅する電気のバランスの問題である。これを分かりやすい例で説明すると、ドレン・バルブの付いたタンクに水を入れることを考えればわかる。完全な絶縁体はないし、静電気の緩和時間はあまり長くないので、ドレン・バルブを少し開いておく。そしてタンクの中に水を入れる。入れる流量を小さくして、ドレン・バルブから出る量と同じにすると、水が溜まらない。ドレン・バルブの開きを一定にして水の流量を増加させると、タンクの中に水が満杯になるまでの時間が短くなる。満杯になると水はタンクの上から溢れ出る。これと同様、フィルタを単位時間内に単位面積当たりには流れる油の量が増加すると、油とフィルタ・エレメントの摩擦が増大するので、摩擦電気の量も増加する。そして摩擦電気が満杯になると自然に放電が起こる。電気の場合、近くにアース電極があると、満杯でなくてもアース電極との間で放電が起こることがある。

帯電防止剤の効果を考えると、帯電防止剤は油の導伝性を増し、油の絶縁性を低下させて電荷が早く逃げるようにするものである。油と空気の絶縁性を較べると油の方の絶縁抵抗が大きいし、乾燥した空気と湿った空気の絶縁性を較べると乾燥した空気の絶縁抵抗が大きいことはわかる。

さて自然界に目を向けると、湿った空気が上昇して積乱雲ができるとその中で水分は水の粒になり、雲の中で摩擦して静電気を発生させ、摩擦電気が蓄積する。蓄積された電気の地上への放電が落雷である。その電圧は1億ボルトを超えるといわれている。絶縁抵抗の小さい空気の中でも1億ボルトからの電気が蓄積されるのだから、絶縁抵抗の大きい油やフィルタの中には火花放電を起こす数万ボルトの静電気が容易に蓄積されることがわかる。

油の中で火花放電が起こっても、油に影響がないという人がおられるそうだが(さすがに、筆者に直接この質問をした人はなく、間接的に耳に入ってくるだけである)、数ヶ月間使用した放電加工機の油の中には、カーボンや金属粉の他に粘着性の高い油の酸化変質物ができていることから十分理解できると思う。本年9月8日からロンドンで世界の34学会が共催して開いた第1回国際トライボロジーで、筆者は火花放電による油のお酸化変質について発表したが、このフルペーパーはアメリカのSTLEで審査を経て受理されているので、来年には学会誌に掲載される。それを読んでいただければ幸いである。

17. 遠心分離機

17-1 原理

重力による粒子の沈降速度 V は粒子を球体と仮定すると下記の式で表わされる。

$$V = (\rho_1 - \rho_2) g d^2 / 18 \eta \quad \dots(1)$$

すなわち、汚染物の沈降速度は油と汚染物の密度差 $(\rho_1 - \rho_2)$ 、重力の加速度 g 、汚染物粒子の直径 d の2乗に比例し、油の粘度に逆比例する。本によっては直径の代わりに半径 r で表示されている場合がある。その場合の沈降速度 V は下記のように書き直すことができる。

$$V = 2 (\rho_1 - \rho_2) g r^2 / 9 \eta \quad \dots(2)$$

遠心分離機は重力の加速度 g を大きくして強制的に液体中の汚染物を沈降させるものである。沈降速度を問題にする場合、沈降距離も忘れてはならない。遠心分離機の性能を発揮させるためには、短時間に必要な距離だけ沈降させなければならない。そこで遠心分離機の主流は多数のディスクを重ね合わせて、その間の距離を例えば600ミクロン程度にしてある。いま仮に液体と粒子の比重差が一定だとすると、粒子は600

ミクロンだけ沈降すれば分離される。油の粘度が高ければ一定時間に600ミクロンの距離を沈降できないことがある。その場合の解決策は遠心分離機の回転速度を上げて重力の加速度 g を大きくするか、油の粘度を小さくする。前者には限界があるので、油を加熱して油の粘度を下げる方法が一般的である。

17-2 遠心分離機の長所と短所

遠心分離機の長所はフィルタのように目詰まりすることなく連続的に液体と固形物粒子を分けることができることである。固形物の自動排出装置付の遠心分離機では、一定時間が経過すれば溜まった固形物を自動的に排出することができる。

遠心分離機は油と固形物の密度差を利用するものであることは、密度差が小さいものを除去するのは困難だということを暗示している。油圧作動油の中の汚染物は油との密度差があまり大きくない油の酸化変質物やサイズの微小な粒子が多いことを考えると、これらの汚染物を除去するにはあまり有効ではないことがわかる。次の問題は遠心力で薄い膜を作って沈降させるため、高速で振り回された油が遠心分離機から出てくるとき、油の中に空気が巻き込まれることが多い。そのため油を白濁させることがある。油の中に空気が過剰に入ると油の酸化変質は当然加速される。油の粘度を下げるために油を加熱すれば、油の酸化変質はさらに加速される。これを繰り返しておれば、密度差の小さい油の酸化変質物の割合が増大するので、汚染物の分離が困難になるだけでなく、遠心分離機の清掃が厄介になることは避けられない。

この項をまとめると次のようになる。

- 遠心分離機の長所：連続的に汚染物を分離でき、自動排出も可能である。
- 遠心分離機の短所：油との密度差の小さいものやサイズの小さいものを分離することはむづかしい。分離の過程で空気を油の中に巻き込むことがある。

粘度の高い油の場合、加熱が必要である。そのため油の酸化変質を促進させることがある。

17-3 遠心分離機の性能を向上させる方法

上記(1)式または(2)式をよく見ると、密度差、重力の加速度、粘度が沈降速度に関与するのは1次関数的である。ところが粒子の半径または直径は2乗で沈降速度に寄与する。この点に着目すると、沈降速度を大き

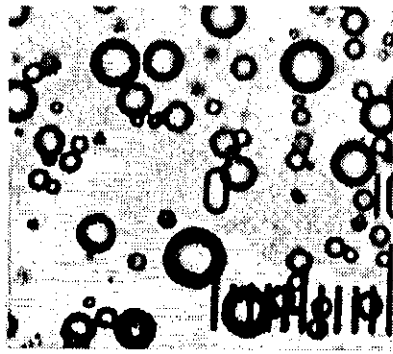


写真4 電界に入る前の水の粒子

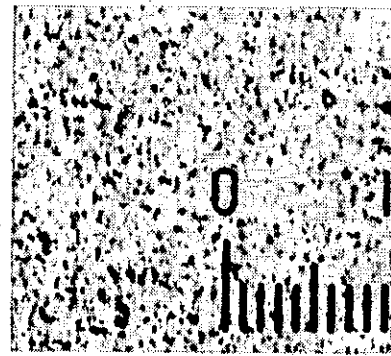


写真5 電界を通過した水の粒子

くしようとする場合、粒子のサイズを2倍にすると沈降速度は4倍、粒子の半径を5倍にすると沈降速度は25倍になるはずである。汚染油を電界の中に入れると汚染物粒子は凝集して粒子サイズが大きくなる。水分がエマルジョン化した油を電界の中に入れる前と後の水分粒子の写真を写真4と写真5に示す。この現象を利用すれば、遠心分離機の性能を向上させることができる。この写真の粒子は水であったので凝集前後の密

度に変化はないが、他の固形物の場合には凝集によって密度が減少する。その分は差し引いて考えなければならぬが、個々の粒子の密度が液体より大きければ、凝集によって液体よりも密度が小さくなることはない。筆者たちはこの方法を利用してある程度の成果をあげている。

今回はマグネット・フィルタと静電浄油機について述べる。

【筆者紹介】

佐々木徹

(昭和11年3月17日生・
大阪府出身)

(株)クリーンテック工業
海外事業部 常務取締役
工学博士

〒140 東京都品川区東大井
2-7-7

TEL:(03)3740-4141

FAX:(03)3740-4966

<趣味> 囲碁(3段)、生花(師範)

<定期購読誌・紙> 日経サイエンス、読売、産経

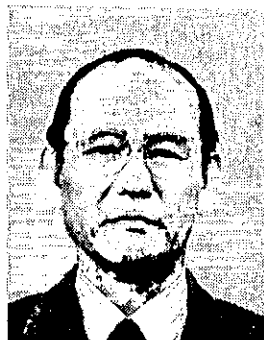
<家族構成> 家内と二男

<主なる業務歴および資格>

昭和37年 日立造船(株)入社

昭和49年 (株)クリーンテック工業入社、現在に至る。

平成4年3月 東京農工大学工学博士



株式会社クリーンテック工業

<代表者名> 村上公伯

<本社住所>

〒140 東京都品川区東大井2-7-7

TEL:(03)3740-4141

FAX:(03)3740-4966

ホームページ:

<http://www.heishin.co.jp/kleentek>

E-mail: kleentek@mx.meshnet.or.jp

<資本金> 6千万円

<年商> 10億円

<従業員数> 28名

<主要取引先>

代理店販売につき、代理店は岩谷産業、東京産業、JT
エンジニアリング

<事業内容および会社近況>

静電浄油機の製造販売と食品・タバコ等の検査選別機械の輸入販売。静電浄油機は基礎研究の成果と長期にわたる世界の一流企業との共同研究で蓄積したノウハウをベースに、油圧・潤滑システムのトラブル解決のコンサルタントをしながら販売している。我々のノウハウをどんどん利用してほしい。