

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7）＝

(株)クリーンテック工業 佐々木 徹

筆者が座右の書の1つとしているものに、夏目漱石の「愚見教則」がある⁽¹⁾。教育についての漱石先生の意見を箇条書きにしたものである。その中に「ただわかったばかりで実地に应用せねば、すべての学問は徒勞なり。昼寝をしている方がよし」というものがある。船の修理屋上がりの方で、粒子カウントで油の汚染状態を判断している世間の常識に挑戦をし、世界を駆けめぐらる仕事に従事してから20年近く経った。世間の常識に挑戦するということは格好よく聞こえるが、簡単なことではない。人間にとって一旦受け入れられた考えを変えることは非常に難しいことを実感する日々が続いた。反対に出会う度にこの座右の銘を心の支えとし、「粒子カウントが採用されてすでに20年以上経過(当時)しているのに、油の汚染問題が解決するどころか、サーボ弁のように汚染物に敏感な機器が使用されるようになってから、逆に油圧トラブルが増加している。粒子カウントで検知できない汚染物の影響を解明しよう」と決心して油の酸化変質物に着目した研究を続けてきた。これを学位研究としてまとめて以来、筆者の研究成果を応用してくれる人の数が増えてきた。少しは「昼寝よりはまし」なことをやりたいと願っている。中村元訳の「ブッダのことば」⁽²⁾の中に「相手の利益になることを問われたのに不利益を教え、隠してことを告げる人、一かれを卑しい人であると知れ」とある。この戒めに従い、真実を伝える義務があると考えている。

さて今回は前回に引き続いて浄油機について述べる。

18. マグネット・フィルタ

18-1 マグネット・フィルタの原理

磁性体である鉄片はそれ自体磁化していなければ他の鉄片を引き付けることはない。しかし、鉄片に磁石を近づけると鉄片は磁化されて磁石に引きつけられる。磁化は単位体積あたりの磁気モーメント(磁石の磁気的性質を特徴づける量)であるから、鉄片の磁化の強さは体積に比例する⁽³⁾。すなわち、粒子を球として考えると、体積は球の半径の3乗に比例する。そのため磁力は重力と同様に大きな粒子に対しては非常に有効である。

18-2 マグネット・フィルタの長所と短所

マグネット・フィルタは磁性体の粒子を除去するには非常に有効である反面、非磁性体や磁化率の小さい粒子を除去するには効果がない。磁性体粒子の場合、体積が大きければ大きいほど有効であり、切削粉等の除去には有効である。このことを逆にみると、粒子のサイズが小さくなれば小さくなるほどその効果は低下する。

球状磁性体粒子で半径1mmの粒子と10 μ (0.01mm)の粒子を同じ距離から同じ磁石で引き寄せせる場合の磁化の強さを比較すると、前者は $1^3=1$ であるのに対して、後者は $(0.01)^3=0.000001$ となり、非常に小さくなることから理解できると思う。

次に磁石と磁化された鉄粉の間にはクーロン力が働く⁽⁴⁾。

$$F = k (Q_1 \times Q_2) / r^2$$

ただし、k : 比例定数

Q_1 : 磁石の磁荷

Q_2 : 磁化された鉄粉の磁荷

r : 磁石と鉄粉との間の距離

磁荷が定まっているとすると、引っ張り力は距離の二乗で減少することがわかる。すなわち、磁石と鉄粉との距離が離れていると、磁石の引っ張り力は極端に小さくなる。空気中では粒子の受ける抵抗は小さいが、油のような粘度の高い液体中で粒子が受ける抵抗は大きい。従って、磁石で油中の鉄粉を除去しようとする、磁石と鉄粉との距離を近づける必要がある。

金属粉は極性をもつ油の酸化変質物を吸着させる。磁石自体は油の酸化変質物を除去しないが、鉄粉を除去することによって間接的に油の酸化変質物を除去することができる。これは油の酸化変質物を除去できないフィルタが、フィルタを構成している金属表面に油の酸化変質物を吸着させたり、フィルタ・エレメントが帯電して静電気の働きで油の酸化変質物を付着させるのに似ている。

油槽の中に磁石を入れて首尾よく鉄粉を除去したとする。そのとき磁石の表面を観察すると、鉄粉は針状に突き刺さったようにして付着している。このことは鉄粉の表面積が非常に大きくなっているということである。鉄粉は油を酸化変質させる触媒として働くことが知られている。油の酸化変質物の中にはフリーラジカルも同居している。油を守るという点から考えると、鉄粉や油の酸化変質物を油槽内に残しておくことは決して好ましいことではない。

18-3 マグネット・フィルタを上手に使う方法の紹介

油管理の目的は機械を守ることであるから、マグネット・フィルタを使用するかぎり、マグネットで捕集した鉄粉を定期的に排出して、鉄粉が油に悪影響（触媒として油の酸化変質を促進する）を与えないようにすることを併せて考えなければならない。永久磁石を使用する場合、捕集した鉄粉をマグネットから取り除くことは、手を汚す厄介な作業である。そこで筆者たちは、マグネットに付着した鉄粉を容易に取り除く方法を考え出した。

マグネットとマグネットの間を近づけると、磁石のSとS同士またはNとN同士は反発するが、NとSでは引っ張り合う。また、磁気は他の非磁性金属の薄板や樹脂板の影響をあまり受けない。その性質を利用して、小さい磁石をそこを閉じた非磁性材の筒の中に、

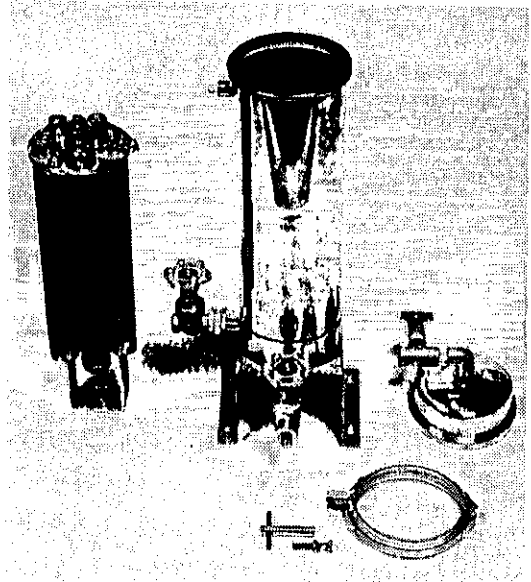


写真1 マグネット・フィルタの構造



写真2 マグネットに付着した鉄粉

SとS、NとNが向かい合うように入れて磁石棒をつくる。これをここでは磁石棒と呼ぶことにする。この磁石棒を底を閉じた非磁性の薄い筒の中に入れて出し入れが自由なようにしておく。この外側の筒をここでは外筒と呼ぶことにする。等間隔の穴が開いた金属板にこの外筒を差し込んで溶接等で固定する。写真1の左の写真は外筒の中に磁石棒を入れて磁石棒の集合体にしたものを示す。磁石の吸引力は距離の二乗に逆比例して小さくなるので、磁石の力を最大限に活用しようとする、粒子を含んだ汚染油が磁石のすぐ側を流れるようにしなければならない。そのために磁石棒の集合体を写真1の写真の中央の容器に入れて密封し、

汚染油を下から入れて上から出すようにする。これを使って実験したものが写真2である。磁石に鉄粉がいっぱい付着することがわかる。実際の油圧作動油にはこのようにたくさんの鉄粉があるわけではないことをお断りしておく。

このように付着した鉄粉を取り出すには、磁石棒を上へ引き上げれば、非磁性体でできた磁石の外筒には磁気が残らないが、鉄粉にはわずかに磁気が残っているので鉄粉は塊になって容器の底に落ちる。容器のドレン・バルブを開くと油といっしょに鉄粉を排出できる。

19. 静電浄油機

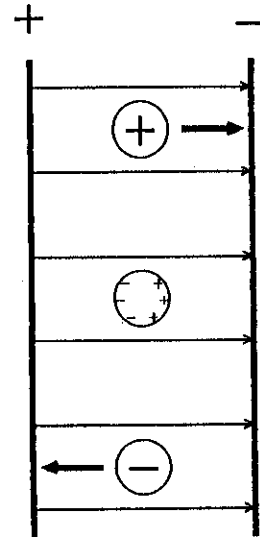
19-1 静電気

静電気は嫌われものである。工場で火災が起これば、原因がわかりにくいときには静電気の火花放電に原因が押し付けられることがあると聞く。静電気は最初に発見された電気であり古くから知られているが、制御がむつかしく、実験しても再現性が悪い。そのためまだ解明されていない部分が多い。しかし我々の身の回りには、静電気を利用したものが多い。その代表的なものは、コピーである。昔は黒煙が工場の象徴であったが、公害が問題になってから静電気式空気集塵機が使われるようになり、工場の煙突の煙がほとんど見えなくなった。その他植毛、鉱石の選別等には古くから使用されている。静電浄油機も静電気の有効利用の代表例の1つである。

19-2 静電浄油機の登場の必然性

油の中の汚染物粒子をサイズで分類すると、分子サイズのものから数百マイクロンのものまで幅広く分布している。メッシュを利用してそれらを除去しようとすると、メッシュのサイズを小さくしなければならない。メッシュをつくる繊維には太さがあるので、メッシュを際限なく小さくすることは無理である。もちろん、科学実験に使用するメンブラン・フィルタでは中性子で穴を開けたりして目の小さいフィルタをつくることができる。しかし、空気や水と違って油の粘度は高いので、このようなメッシュ・サイズの小さいフィルタを油のろ過に使用するには無理がある。そこで汚染物粒子を除去するとき、ある大きさの粒子は除去して、それ以下の粒子には目をつむらざるをえなかった。すなわち技術的妥協が行われてきた。

油管理の目的は、どのサイズの粒子を如何に早く除



第1図 均一電解中の粒子の動き

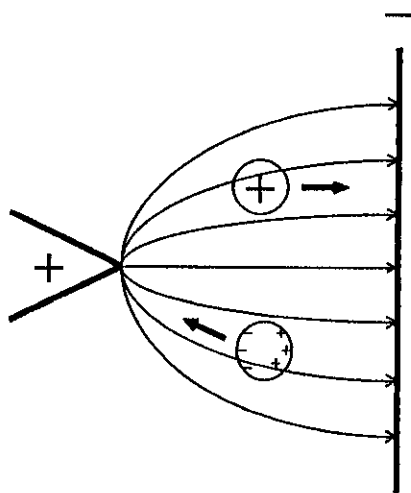
去するかというようなことではなく、機械設備が設計どおりに動く状態を油の面から保証するものであることを考えると、機械にとって好ましくないトライボロジー現象を引き起こす異物をできるだけ除去しなければならない。機械のトラブルのメカニズムを解明したいというのが筆者のライフワークであることから、機械のトラブルの原因になる油の汚染物をミクロンサイズではなく、分子サイズのレベルで研究している。分子サイズの汚染物を除去しようとすると、従来の機械的な方法では無理である。そのため目には見えない静電気の力を借りている。

19-3 静電浄油機の原理

油の中の汚染物を電氣的にみると、汚染物の粒子サイズに関係なく、正か負に帯電しているものと中性のもの3種類しかない。このような汚染物を除去しようとすると、電気の力を借りるのが賢明である。

平行電極に直流高電圧を印加してつくる電界の中に汚染油を入ると、第1図に示すように、平行な電気力線に沿って正に帯電した粒子は負の電極に、負の帯電した粒子は正の電極に引き寄せられる。これは電気泳動という現象である。しかし、中性の粒子は電界中で分極しているため両方の電極から引っ張られて動けない。そこで工夫が必要になる。

第2図のように電界に歪みをつけると、電界が尖った部分に集中する。これは避雷針と同じ原理である。中性の粒子はこの歪んだ電気力線に沿って電界の集中した部分に向かって移動する。この現象は誘電泳動現



第2図 不均一電解解中の中性粒子の動き

象である。

この2つの泳動現象を同時に起こすことによって、合理的に油中の汚染物粒子を除去できる。これが静電浄油機の原理である。このように静電浄油機は自然現象に逆らわない科学的な浄油機である。

19-4 静電浄油機の長所と短所

静電浄油機はその名のとおり、静電気を利用する。すなわち、電気を流さない油のような液体には非常に有効な方法である。その長所は粒子のサイズに関係なく油に溶けない汚染物粒子なら、何でも除去の対象になることである。静電気を使うということは電気を流す液体では静電気にはならないので、適用の範囲外である。ところが電気が流れる液体に静電浄油機が使えないのは静電浄油機の短所であるという人がいた。それは自動車が空を飛ばないのは自動車の短所だということと同じ論である。

静電浄油機は水に弱いことが短所だという。これについても考えてみたい。油の使用環境の湿度や油の添加剤にもよるが、使用中の一般の油圧作動油の中には100ppm前後の水分が溶解している。この程度の水分は静電浄油機で浄化するのにまったく問題はない。それ以上の水分は微小な粒子となり、その量が増加すると水の粒子は凝集して水滴となり、沈殿する。

水分が入っている油を静電浄油機で浄化する場合について考えてみる。油量があまり多くない場合には、水分が500ppm以下であれば、静電浄油機のコレクターが水分を除去する。そのときコレクターが少し湿るので、多少電気が流れやすくなる。これは静電浄油機の

電流値がゆっくりと高くなることからわかる。数ミリ・アンペア程度で電流計の動きが止まると、しばらくして電流値が少しずつ低下するようになる。これは水分が除去されていることを示す。

水分が500ppm以上ある場合や油量が多い場合を考えてみる。油槽は金属でできているので、わずかに油面計から油の状態を伺い知るだけで、油槽中の油の状態は外から見えない。強い極性をもつ水分は水分同士が凝集し、無極性の油の中に万遍なく分散することはない。従って、平均で500ppm程度の水分でも油槽の上部にはほとんど水分がなく、油槽底に水分が沈殿していることがある。これは外見からはわからない。油面計の油が白濁していることがわかるようでは、かなりの手遅れである。これから動き出すようでは油管理とは言えない。水分が500ppm以上ある場合や油量が多い場合、静電浄油機のコレクターが水分を吸収して湿り、電流を流すようになる。電流がたくさん流れるとジュール熱を発生するので油に損傷を与える可能性がある。何度も繰り返すように、油管理は油と機械を守ることであるから、汚染物を除去しても油に損傷を与えては、油管理の本来の目的から外れる。そのために、静電浄油機は一定の電流が流れると自動的に静電浄油機が停止するような回路設計をすることが望ましい。水分があると静電浄油機が自動停止する回路設計にしてあることを静電浄油機の短所と書いている人があるが、そのような人は油を浄化することにしか目が向いておらず、「機械と油を守る」という本来の油管理の目的を理解していないと言わざるをえない。何故なら水は油を劣化させる主要因の1つであり、油が劣化すると機械の運動性能が低下するからである。機械を守るための油管理をしようとすると、水分が入るといち早くそれを感知し、対策を立てる必要がある。そうかといって、何時水が入るかわからないのに、水分感知機を油槽に取り付けるのは、経済合理性を追求する企業にとっては不経済である。静電浄油機は油を浄化しながら、人に代わって水分にも目配りする機能を併せ備えている。これが本当に油を管理する機械である。

数パーセントの水分が入った油の場合を考えてみる。この場合、静電浄油機の自動停止回路を切れば、浄油できないことはない。しかしこの場合、電気が流れるので油に損傷を与える。これは機械や油を守るという

本来の油管理の目的に反するので、決して勧めるわけにはいかない。それを避けるにはコレクターを使用せず、電極だけを使う。油に溶けない水滴を含む油が平行電極でできた電界の中に入ると、水が電界の力でつながったり、凝集して大きな水滴になる。つながる現象は真珠の首飾りのようになるので、パール・チェーン現象と呼ばれることがある。しかし、これは過度現象でこの状態が長く続くことはなく、まもなく水滴同士が凝集して大きな水滴になり沈殿を早める。これは本誌の先月号で述べた電界凝集機の原理である。海水を圧入して汲みだした原油には多量の海水が含まれている。このような油を運ぶのは不経済である。そのため電気で海水を凝集・沈殿させる方法が使われている。水分が多いと電気を使えないというのは理解不足である。

静電浄油機は油の浄化速度の遅いことが短所だといわれている。静電浄油機の浄化速度を速くすることはさほどむづかしいことではない。例えば、コレクターにスポンジを使えば浄化速度は格段に速くなる。しかし、スポンジと油の摩擦で静電気が発生する。発生した静電気は蓄積されて近くの電極との間で放電する。放電は油に損傷を与える。油に損傷を与えることに目をつむり、機械を守ることを放棄して、単に油を浄化するだけなら、わざわざ静電浄油機を使用せず、安価なフィルタを使用する方が気がきいている。現在の静電浄油機の浄化速度はフィルタや遠心分離機に比べると遅い。それは油を守るために浄化速度を敢えて抑えてあるからである。何の防備もなく油が電界の中に入ると油は帯電する。油の帯電電圧が高くなると、火花放電が起こる可能性がある。それでは油と機械を守れないかもしれない。油と機械を守る静電浄油機を完成するために、多くの苦労がなされた。その結果として、コレクターの材質と形状、印加電圧とポンプ流量をある組み合わせにすることによって、油を帯電させないようにコントロールできるようになった。「機械を守ろうとして油管理」をしておられる皆さんは、浄化速度を速くして油に損傷を与える浄油機よりも、油を守るために敢えて浄化速度を抑えてある浄油機を選ばれるはずだ。

静電浄油機のコレクターの汚染物の捕集量は非常に大きい。少なくとも、自重と同じだけの重量の汚染物を除去できる。多いものでは自重の数倍の汚染物を除

去できる。それは目詰まりしないからである。機種にもよるが、十数個のフィルタで除去する汚染物を1個のコレクターで除去できる。環境問題が重要になった現在、これは非常に重要なポイントである。さらなるメリットは、静電浄油機のコレクターはブリーツ状に折ったセルロースとアルミ箔の電極でできており、コレクターと電極であるアルミ箔とを容易に分離できることである。この分離性のよさは環境問題を考えると非常に大きな意味をもっている。ヨーロッパでは、近い将来、産業廃棄物を出す場合、家庭の廃棄物と同様、燃えるものと燃えないものを区別しなければならないといわれている。ついでながら、従来のフィルタではフィルタの繊維部と金属部が一体化していて分離できないものが多かった。しかし、最近では環境を考慮して、金属部とフィルタ部を分離して、フィルタ部は産業廃棄物に、金属部は再使用できるようなものができている。好ましい傾向である。

静電浄油機の短所はどうしたのかと問われるはずだ。静電浄油機の最大の短所は新しい技術につきものだが、多くの人の理解を得るのに時間がかかることである。しかし、お客さまは賢明である。着実に理解者が増えているので、楽しみである。

19-5 静電浄油機は添加剤を除去しないのか

静電浄油機は添加剤を除去するという風聞が今でもある。そのようなことを書いている人もいる。結論から言うと、静電浄油機は決して油に溶ける添加剤を除去しない。油にとって添加剤は重要な要素である。油管理を目的とする、すなわち、油や機械を守ることを目的としている静電浄油機にとって添加剤を除去しないことは当然のことである。従って、筆者達は慎重な実験をして確認しただけでなく、お客様の名前で、添加剤メーカー、石油メーカー、大学の研究室、軍の研究所等でも実験をしてもらい、静電浄油機は油に溶ける添加剤を除去しないことが確認されている。次回は上手な油管理の仕方について述べる。

<参考文献>

- (1) 三好行雄編「漱石文明論集」岩波文庫 p.287
- (2) 中村 元訳、「ブッダのことは」岩波文庫、126
- (3) キレンスキー、L.B.、「磁性体の物理」総合科学出版 1985、p.43
- (4) 培風館「物理学辞典」昭和61年、p.791