

# 静電浄油機と添加剤

## まえがき

静電浄油機が実用化されて以来、既に40数年が経過したが、油中の濁りの成分を除去すれば、更油の必要がなくなるばかりでなく、電力消費の節減はもとより、チョコ停が無くなり大幅に保全費が減少することも明らかになった。

それにもかかわらず、依然として次のような見解のもとに静電浄化処理をためらう人もある。

- (1) 微細粒子(コロイド粒子)は摩耗に関係しないので除去する必要がない。
- (2) コロイド粒子まで除去すると添加剤が失われる。
- (3) 耐摩耗性添加剤を用いればポンプは摩耗しない。

以上の事柄は、いずれもコロイド粒子が深く関わっているため、その見地より説明し静電気によるコロイド粒子の除去が極めて重要であることについて述べる。

## 作動油中のゴミ

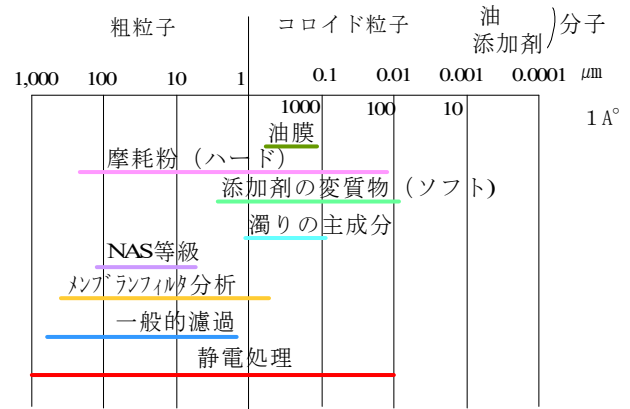
汚れて濁った作動油中の汚染物(以下ゴミという)は何であろうかと質問すると、多くの人は機械の摩耗粉であると答えるが、一方油屋さんは油が酸化劣化し添加剤が消費しているので更油した方が良くと答えられる。どちらが正しいかについては、まずゴミの正体を明らかにせねばならない。

### 【粗粒子とコロイド粒子および油の分子】

第1図は、1 $\mu\text{m}$ 以上を粗粒子とし、これ以下をコロイド粒子さらにその下に油や添加剤分子の大きさを領域毎に大別し、油とゴミとの関連を図示したものである。

### 【粗粒子】

その大部分は無機物で、金属摩耗粉や塗料・シール・砂埃などの固体ハード物質が主なものであるが、その他、水など油に不溶性の液体もある。いずれも比重の大きいものは静置沈殿により沈降する。



第1図 ゴミの大きさと浄油機の処理領域

### 【コロイド粒子】

通常の顕微鏡では見えない位の大きさの粒子をコロイド粒子といい、その大きさは1 $\mu\text{m}$ 以下で、液体は球状であるが固体はそれぞれの形をしている。

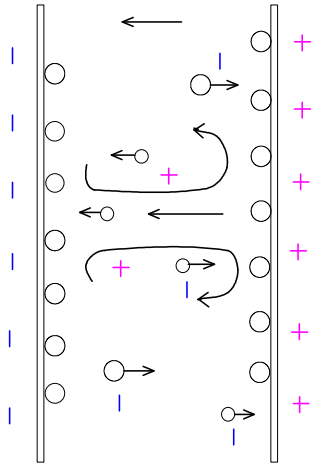
油や添加剤の分子の激しい分子運動により、これらの粒子は多くの油の分子が衝突し、油中で不規則なジグザグ運動つまりブラウン運動を繰り返しながら、いつまでも沈降することなく濁っている。汚染油を静置しても濁っているのはこのため、いわばコロイド粒子は濁りとなる粒子で、後に説明する潤滑故障の最大要因となる。これらはフィルターで除去できないばかりか、逆にフィルターの目詰まりの主役となっている。

### 【溶液とコロイド溶液】

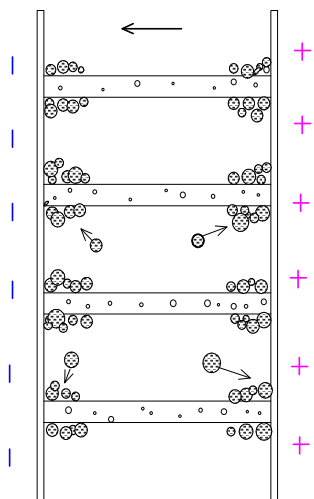
#### (1) 溶液

食塩が水に溶けた食塩水は、固体の食塩と液体の水との分子同士が均一に溶け合っているもので、同一容器内にある食塩水は、いずれの点をとっても、水と食塩の割合は一定で、塩からさも変わらず透明な液体となっている。

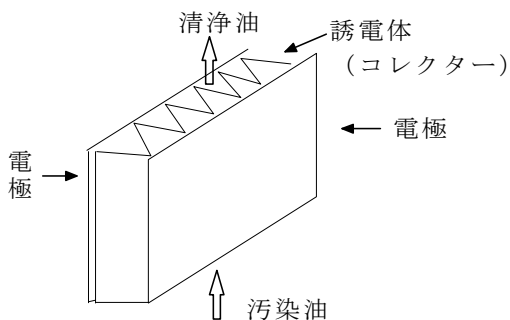
添加剤入りの新しい作動油も油に添加剤が分子状態で溶解した溶液で、いずれの部分でもその成分比は変わらず透明である。



第2図 電界内での粒子の移動



第3図 誘電体による粒子の付着



第4図 静電浄油機の原理

また激しい分子運動で互いに分子が衝突しあっており、これを静電気をういて別々の成分に分離することは到底不可能である。つまり溶液は常に透明である。

## (2) コロイド溶液

汚染油は一種のコロイド溶液である。溶液と異なるのは、コロイド粒子によって濁っており、これに直射光を投射すると光がコロイド粒子にあたって散乱光となり、光の直進径路を側方から見るができる。つまりコロイド溶液はチンダル現象を伴うものである。

### コロイド溶液は静電気で透明になる

コロイド粒子はコロイド溶液中にあって、大なり小なり正または負に荷電している。この時液中に一对の陰陽電極をおくと、それぞれの正負に従って陰極または陽極に引き寄せられる。

第2図は、荷電した粒子が極板に付着あるいは極板に向かって進む状況を示しているが、この時液も流動して対流を生じるため、極板に付着して中和した粒子は再び液中に戻るものが多く、このままでは処理効果は乏しい。この時第3図で示すように電極板に垂直方向に誘電体を挿入すると、誘電体の両端は電磁石の両極のように両極が強い電界を構成し、コロイド粒子をもよく吸収し、特に両端に集中して捕捉する集塵体（コレクター）となる。

具体的には、第4図のように陰陽両電極板の間にひだ状のコレクターを挿入し、汚染油をこの中に流すと、ゴミは側方にあるコレクターに捕捉されるので、フィルターのような目詰まりを生じないのが大きい特徴である。

なお、このようなコレクターには広い空間があるので、ゴミが素通りするとの懸念がもたれている。しかしこの空間には、ゴミを吸引除去する強い電界が張り巡らされ、繰り返し通過することにより濁った汚染油中のコロイド粒子を除去して透明な液体とすることができる。

### スラッジ

油は使用するにつれて酸化し、油に溶けないゴミになる。これをスラッジと称しその濃度は、100 ml を0.45又は0.8 $\mu$ mの孔径を持つメンブレンフィルターで濾過した後、この濾滓の重量を汚染重量として表す。

第1表 スラッジ中の金属成分 (%)

Zn	P	Fe	Cu	Ca	Mg	その他	合計
59.7	3.5	5.7	1.9	0.6	0.2	23.4	100
63.4		7.6					

第2表 作動油 50 ml中に含まれるゴミと金属成分

(単位 mg)

試料	ゴミの量	Fe	Cu	Fe+Cu	備考
A	1	0.6	0.040	0.005	一般 作動油
	2	1.6	0.070	0.050	
	3	1.4	0.030	0.000	
	平均	1.2	0.047	0.018	
B	4	10.6	0.070	0.060	耐摩耗 性入り
	5	8.7	0.080	0.130	
	平均	9.7	0.075	0.095	

第3表 ポンプ故障の調査表

ポンプ故障		昭和 53 年				昭和 58 年	
現象	原因	件数		停止時間(h)		件数	停止時間(h)
圧力上昇不良	摩耗	12	% 46.2	259	% 56.0	0	0
焼き付	潤滑不良	1	3.8	122	26.5	0	0
異常振動	ラインフィルタ目詰	4	15.4	11.5	2.5	1	0.5
異常音	キャピテーション	9	34.6	69.5	15.0	0	0
合計		26	100	462	100	1	0.5

さらにこれを原子発光分光分析法により、その中の金属成分を測定することができる。第1表は、潤滑故障を起こした油の1分析例である。ここに亜鉛とリンの合計 63.4%は代表的添加剤 Z D T P が変質したもので、鉄と銅の合計 7.6%は摩耗粉であると推定される。

このようにスラッジの主成分は、添加剤が酸化防止や耐摩性の働きをした後の残骸ともいべきもので、これらが潤滑故障の主役となることも皮肉な

ことである。従ってこの残骸の後始末が必要となる。

次に第2表は、一般作動油 3 試料を A 群とし、耐摩耗性作動油 2 試料を B 群とし、それぞれ 0.8 μm 孔径のメンブランフィルターで分析した時の mg 数をゴミの量とし、その中の鉄と銅の量を原子吸光分析して求め、それらを摩耗金属粉の量 mg 数で表したものである。

この調査によれば、B 群のゴミの量は A 群の 8 倍に達し、また金属摩耗粉の合計も 2.7 倍となり、耐摩耗性添加剤は逆効果を及ぼしているかの如くである。

### スラッジによる潤滑故障と静電浄油機

第3表は関東精器㈱で、射出成形機 52 台のポンプ故障について、5 年間にわたり詳細に調査したものをまとめたものである。

これによれば、昭和 53 年度分ではポンプ摩耗による圧力上昇不足のためのポンプ交換 46%、フィルターやストレーナーの目詰まり件数 50%、また停止時間についても前者 56%、後者は合計 17.5%である。

なお、この他に油漏れの減少などにより、油の消費量は年間 110 kl から 35 kl へと約 1/3 に低下している。

しかも、静電処理機を使用して以来 5 年後には、ポンプ故障停止時間がわずかに 30 分となり、ポンプ故障 0 に近い値となっている。

#### 【暖機運転が必要な理由】

油や添加剤の酸化変質物の中には、高温では油状であるが、低温ではコロイド粒子となって油中に析出し、これらはスプールの溝やスリーブに膠着して油圧駆動を困難にしている。

毎年 11 月から 3 月までの冬期に暖機運転を必要とするのはそのためである。これを避けるために、粘度指数向上剤を加えて粘度変化を少なく抑えようとしても、問題は決して片付かないことは明らかである。まずコロイド粒子を除去することが先決なのである。

#### 【フィルターとストレーナーの役目】

水のなかに小石と砂がある時、砂の大きさよりも小さい目のふるいを用いて小石と砂とを水よりこ

し分けることはできる。しかし、もしもその他に多量の細かい粘土が混ざっている時は、粘土の粒子が砂の隙間をつめて、一滴の水も通さなくなる。

これと全く同一で、油中のゴミ特にコロイド粒子はフィルターの孔径よりもはるかに小さいが、大きいゴミと共にフィルターの隙間を埋め尽くすと、油は通らなくなる。

またストレーナーは、ポンプが異物を噛む事を防ぐための一種のこし網であるが、油中には数 mm の長さの糸屑が 100ℓ中に 10 万個位に達することもあり、これらがストレーナーの表面に巻き付き、その隙間をコロイド粒子で埋め尽くしてしまうので、油は通らなくなる。

以上の事実よりすれば、まずコロイド粒子を除去しなければ、フィルターもストレーナーも本来の役目は果たせないことになる。

#### 【キャビテーションと油もれ】

ストレーナーの目詰まりによって、油圧ポンプの吸入口が塞がれたままで運転すると、ポンプは負圧となり気泡を発生し、モーターは激しく振動して騒音を発生し、配管継手に弛みを生じたりする。

続いてテーブルの往復運動での左右の死点で、高圧となった時、配管の弛みの部分から往復の周期に合わせて油が漏れ始める。

往々にして現場では応急対策として、機械の周囲をおが屑で囲っている例も見受けられるが、油の汚れが原因で油が漏れるとは誰も知らないであろう。

油漏れを強いて故障と考えないことが多いが、油漏れによる油損失以上に悪いことは、職場や機械の汚染など、環境悪化という一層やっかいな問題を引き起こすことで、ひいては安全や保全活動の妨げとなっている。潤滑管理の第一歩は、まず油漏れの汚染防止から始めねばならない。


#### 汚染管理と汚染度測定

石油メーカーでは汚染度 10mg/100 mlをもって更油の目安とされているが、これはあくまで更油基準であって、これをもって汚染の管理基準と混同してはならない。

第4表 NAS等級、汚染量、濁度の比較

NO.	NAS 等級	汚染量 mg/100 ml	濁度 ppm	備考
1	7	0.2	3	
2	9	2.7	3	
3	9	0.3	1	例外
4	7	0.4	1	
5	5	0.1	0	
6	6	0.1	1	
7	6	2.8	5	異常
8	5	3.2	5	異常
9	5	0.3	2	
10	7	0.5	0	
11	10	1.7	3	
12	8	0.2	1	
13	6	2.8	10	異常
14	4	2.6	8	異常
15	6	4.2	9	異常
16	11	≒0	0	例外

第5表 NAS粒子数と汚染度等級と重量等級

試料		1		2	
処理法		濾過		静電処理	
用途		ロボットマシン		ロボットマシン	
メンブランフィルター標本					
汚染重量		4.2 / 100		≒0 / 100	
100 ml の 粒 子 数	μm 2.5~5	19,652	NAS	7,251	NAS
	5~15	3,964	4	8,421	6
	15~25	656	4	326	3
	25~50	161	5	201	5
	50~100	76	6	44	5
	100<	14	6	8	5
総合		NAS 6級		NAS 6級	
重量等級		108 以上		100	

### 【NAS汚染度等級の落とし穴】

自動粒子数測定機の普及によりNAS等級による汚染管理基準が、今日でも頑なに守ろうとされているが、果たしてそれでよいのであろうか。

この装置は、2分間以内で100万個位のゴミをサイズ別に計測し、しかも再現性が良いので今日まで高く評価されてきたのである。

しかし、光センサーを用いるため5 $\mu\text{m}$ 以下のゴミが多い時は、ゴミとゴミが重なり合って誤動作を繰り返すため測定値には全く信頼性がない。

また、例え正しい値を表示しても潤滑故障を引き起こす根源は、前述のようにNAS等級とは全く無関係な5 $\mu\text{m}$ 以下のゴミ、特にコロイド粒子と糸屑の組み合わせによって生じることよりすれば、的外れの評価法というべきである。

第4表は16試料についてNAS等級、汚染量及び濁度の実測値を比較したもので、汚染量が多くなるにつれて、相関性が低下している。

ここに、異常とはひどい汚染油でありながらNAS7級以下であり、また例外とは極めて清浄な油であるにもかかわらずNAS9級以上となった例を示している。

また第5表は、粒子数分布によるNAS等級が同一であるにもかかわらず、汚染重量が著しく異なる例である。この場合、試料1はたとえNAS6級といえども、汚れのひどい油というほかはない。なお、試料1の粒子数は自動粒子測定機による計数であるが、前述の理由により、この値をそのまま信用できないかもしれない。

### 【汚染重量測定法】

最もよく普及しているのが、前述のメンブランフィルターによりゴミを濾過して汚染重量を求める方法で、かなりの実用性と信頼性がある。

しかし、コロイド粒子が多い時は、濾紙の目詰まりによって所定の100mlはおろか1mlでさえ濾過できないことがあり、しばしば測定量を変更するなど、一定量測定ができないなどの欠点がある。

また、濾過法であるため目詰まりによりろ孔径は次第に小さくなるので、一定ろ孔サイズによる測定ができない。ここにもコロイド粒子による問題があ

る。

### 【濁度測定法】

検体に可視光線(波長0.4~0.8 $\mu\text{m}$ )をあてると、ゴミが多い時は透過光が少なく、逆に散乱光が増える。この相反する条件を積分球でうけ、電子回路により濁度ppmをデジタルで表示する。検体量は3mlで、瞬時に測定できるのが大きい特徴である。

この方法によると、孔径0.8 $\mu\text{m}$ のメンブランフィルターを用いて、汚染重量が0mg/100mlであっても、0.8 $\mu\text{m}$ 以下のゴミが多い時は、濁度が0とならず2~3ppmとなることがあり、コロイド粒子の検出に鋭敏である。従って、この測定法は作動油の汚染管理には最適である。

### 【作動油の汚染管理基準】

通常の油圧系では、バルブや配管その他いたる所にゴミの溜まり場があり、これらが偶発的に油中に流入したり、また汚染が慢性的な場合など種々であったり油圧駆動条件の相違より一律に汚染管理基準を定めることは困難である。

しかし、ゴミの汚染濃度が高い程、潤滑故障は起こり易いことに相違ないので、今日までの無事故の実績値よりすれば、一応下記の汚染管理基準となる。

汚染重量	2mg / 100 ml以下
濁度	5ppm 以下

### 添加剤と静電浄油処理

静電浄油法の原理は、前述のように電流の流れない静電気を用いる物理的処理法で、電流を流して電気分解を行う化学的方法とは本質的に異なるものである。

それにもかかわらず、高電圧により静電気は基油や特に添加剤に変化を与えたりするかも知れぬとの配慮のもとに、石油メーカー2社により研究調査されたことがあるが、全く影響なしとの報告であった。

### 【酸化防止剤と静電浄油】

前述のように酸化防止にZDTPが用いられるが、油の酸化防止の役目を果たすため自らがスラッジとなる。またこのスラッジはコロイド粒子で、油や酸化防止剤の酸化触媒ともなるなど、酸化防止剤

の効果には総体的には疑わしいものがある。

人体にばい菌が侵入すると、白血球が作用して化膿する。生じた膿を排出せねばならぬと同様に、生じたスラッジは静電気で処理せねばならない。

#### 【耐摩耗性添加剤と静電浄油】

耐摩耗性添加剤は、摩擦面との腐蝕反応によって耐摩剤となるため、必然的に反応生成物は多数のコロイド粒子となり、これらが油の酸化を促進し前述のように、通常の作動油の約8倍ものスラッジが発生し、これを除去しないと摩耗粉が2.7倍も多く発生し、潤滑故障の要因ともなる。

特に耐摩耗性作動油は石油メーカーによって甚だしく優劣があるので、ユーザー自身で油種選択は慎重に行う必要がある。

#### 【消泡剤】

消泡剤はコロイド粒子よりなるので、静電浄油すると消泡性が失われると強く主張して更油をすすめた石油販売店もあった。

しかし消泡剤はフィルターにもよく吸着して失われるものである。泡立ちによるトラブルは、むしろスラッジで目詰まりしたストレーナーのキャビテーションによるものであるゆえ、静電処理した油にはその心配は不要である。

いずれにせよ、良く効く薬には副作用があるように添加剤は功罪を伴うもので、その後始末に静電浄油機でコロイド粒子を除去する必要がある。

### おわりに

かつて、人が機械を使って物を生産した時代は労務管理が重要であったが、今日のような無人化時代には潤滑管理すなわち、油の浄化によって、機械をフル稼働させる、つまり機械への投下資本のフル稼働を行う管理が企業の発展の重要課題となるであろう。ある大手自動車メーカーでは、既にこのことに着目して全社的に油の浄化を行い着々と成果を収めている。

また、潤滑管理がとくにおざりにされている根本原因には、機械を扱う生産技術者には油について知識が乏しく、添加剤の効果を重視する油屋任せという考え方がある。

とはいえ、油種銘柄の選定はなかなか難しい問題である。しかし、油につきもののコロイド粒子を静電浄油機で除去すれば、油についての知識を必要とせず自ずと潤滑管理が行われる。つまり潤滑管理の自動化、無人化を可能としたのが静電浄油機である。