

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⑨

油の酸化生成物がつくる「蠅取り紙現象」としゅう動面の「サンドペーパー効果」

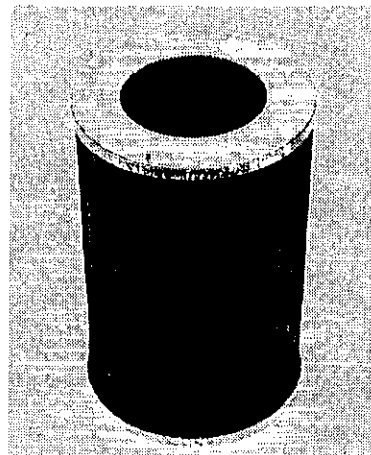
(株)クリーンテック工業 佐々木 徹

1. 機械のしゅう動面の状態

今回は学術用語にない筆者の勝手な造語で油の酸化生成物か起こす悪戯を説明する。「機械のしゅう動面はサンドペーパーのような状態である」というと、お叱りを受けるかもしれないが、これは機械加工が悪いのではない。機械メーカーの人達がどれだけ高精度に機械加工しても、機械を使っているうちに油が酸化変質して機械のしゅう動面等に付着し、油の酸化生成物が糊の働きをして「蠅取り紙」のように他の固形物を付着させ、しゅう動面を「サンドペーパー」のような状態にするからである。このようなサンドペーパー状のしゅう動面上を機械がしゅう動しているとしたら、本当に恐ろしいことである。

2. 蠅取り紙現象

本誌11月号で、点接触条件での油の酸化生成物の付着力を測定しているときに、実験を停止して実験装置に数日間布を被わせていたら、布にバルブスプールの付着していたことを書いたが、これはバルブスプールの表面に油の酸化生成物が付着していたために起こった現象であった。薄く付着した油の酸化生成物の膜でさえバルブスプールのくっつける力をもっているのだから、ミクロンサイズの汚染物を付着させるのはわけのない話である。蠅取り紙に蠅がくっつくと、いくらもがいても蠅は逃げられないように、油の酸化生成物の吸着膜に他の汚染物が付着すると油の流動によっても容易に離れない。それで筆者はこの現象を油の酸化生成物による「蠅取り紙現象」と呼んでいる。



第1図 金網フィルタ

3. 蠅取り紙現象の調べ方

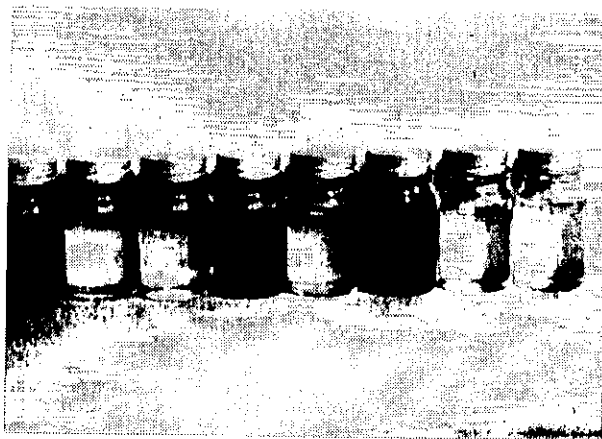
そこで、先ず蠅取り紙現象が本当に起こっているのか調べることにする。バルブスプールの表面積と比べて汚染物粒子のサイズは非常に小さいし、何処にくっついているのかわからないので、スプールの表面に糊付けされている粒子を直接見つけるのは難しい。スクールの表面を洗浄して洗い出した洗浄液から見つけ出そうとしても、スプールの表面積は小さいし、付着している粒子の数も多いわけではないのでこれも難しい。そこで細い金属線でできた金網のように表面積の大きいものを溶剤で洗浄して溶剤を蒸発させて、後に残った付着物を調べることにする。この金網を作っている金属線は金網の目と比べると非常に小さい。この金網の目を高速で流れる油の中の汚染物が金網に触れたときにくっつくのは、蠅が「蠅取り紙」にくっつくのとよく似ている。



第2図 切断後のフィルタの金網



第4図 クロロホルムで洗浄して洗い出された粒子



第3図 金網を洗浄した溶剤の色

第1図のような金属フィルタを切り、金網だけを取り出すと第2図のようになる。金網には目の細かいものと目の粗いものがあるので、この実験では目が1.5mmの粗い金網の方を洗浄した。粗い金網の洗浄には石油エーテル、トルエン、クロロホルム、テトラヒドロフラン、ピリジンという5種類の溶剤をこの順序で使い、超音波洗浄機で1回30分間洗浄し、各々の溶剤で5回の洗浄を行った。各溶剤で洗浄したとき、最初の洗浄で溶剤に色が付くが、洗浄回数を重ねて4～5回目になると全く溶剤に色が付かない。この方法で金網を洗浄したときの溶剤の着色を第3図に示す。第3図の写真の左端のガラスビンには第1回目の石油エーテル洗浄液、左から2番目は石油エーテルの5回目の洗浄液、3番目はトルエンの第1回目の洗浄液、4番目はクロロホルムの第1回目の洗浄液、5番目はテトラヒドロフランの第1回目の洗浄液、第6番目はピリジンの第1回目の洗浄液、第7番目は金網を液体窒素の中

に漬けた後トルエンで洗浄した第1回目の洗浄液、第8番目は金網を液体窒素に漬けた後クロロホルムで洗浄した第1回目の洗浄液である。

残念ながら白黒写真では色が見えないが、石油エーテルの第1回目の洗浄液は真っ黒であるのは当然として、トルエン、クロロホルム、テトラヒドロフラン、ピリジンの第1回目の洗浄液は濃淡に差はあるが赤茶色に着色していた。この洗浄液の色は金属表面に付着していた物質が洗い出されて溶剤を着色させたものである。この洗浄液の色によって、肉眼や工学顕微鏡で何も見えなかった金属表面に、非常に厚い油の酸化生成物の分子膜が存在していたことがわかる。すなわち、このようにして洗い出した各種溶剤から取り出した不溶解物を石油エーテルで洗い出し、メンブランフィルタでろ過して分離したものを第4図に示す。メンブランフィルタ全面に見える茶色い粒子は微小な固形物を核として凝集した油の酸化生成物である。これらの粒子の一部には油の酸化生成物の膜を通して固形物が見えることから、油の酸化生成物が糊の働きをし、「蠅取り紙」のように他の固形物を付着させていたことを確認できる。

4. この実験での工夫の種明かし

この実験で特に工夫したことが3つある。1つは溶剤の選定と洗浄順序であり、もう1つは液体窒素に漬けたことであり、最後は静置沈殿過程で、沈殿物に付着する油の酸化生成物の量を減らすことであった。

先ず第一の溶剤の選定では、何の根拠もなくこの溶剤を選定し、洗浄順序を決めたわけではない。金属表面に付着している物質を手で一枚一枚剥がすことはで

きないので、それに代わる方法を見つけなければならぬ。洗浄に使った溶剤の双極子モーメントがゼロから大きなものへと順番に並んでいることに気が付かれたであろうか？ これも苦心した実験方法や手順の1つである。この順序を選んだ理由は重要であるが、その根拠を説明すると長くなるので、別の機会にゆずりたい。

第二の工夫は金属表面に吸着している物質を完全に剥がすにはどうすればよいかという問題と、完全に剥がれたことをどのようにして確認するかという問題である。高価な機器を揃っておれば問題ないが、機器を使わずにやるところに苦労とやり甲斐がある。東北大学の西沢学長が言っておられたように、機器がなくても工夫するところに研究や実験の面白さがあると思う。そうかと言って自分勝手に思いつきで研究ができるわけではない。この洗浄方法に到達するまでに多くの研究者と相談してアドバイスを受けた。液体窒素に漬けたのは、イギリスのインペリアル・カレッジのスパイクス博士のアドバイスによるもので、低温での金属と付着物の収縮率の差を利用して、吸着膜に割れ目を作り、そこから溶剤を入り込ませて吸着物を洗い出すことを目論んだものである。これは上手くできた。偶然だがこの洗浄実験をしていたのは丁度梅雨期だったので、湿度が高かった。トルエンやクロロホルムから金網を取り出して空气中に放置しておいたら、金網表面は青緑色に着色した。このことから金網表面に付着していた物質が完全に剥ぎとられたことが確認できた(この金網は銅合金であったことと、この色がアンモニア液に溶けたことから、ロクショウだったのではないかと思われる。しかし、この物質の分析は本来の目的ではなかったので確認していない)。この実験で洗浄したトルエンとクロロホルムは全く着色は認められなかったが、これらの溶剤から抽出した物質を赤外吸収スペクトルで調べたら、油の酸化生成物が認められた。しかし、固形物は認められなかった。このことから、油の酸化生成物の膜が「蠅取り紙」効果を発揮するには、ある程度の吸着膜の厚さが必要であることが推察できる。

第三の工夫は、このように溶剤で洗い出した付着物を調べるには、洗浄に使用した溶剤を蒸発させ、石油エーテルのようなメンブラン・フィルタでなければならぬ。何故なら、これらの溶剤は強力だから、アセ

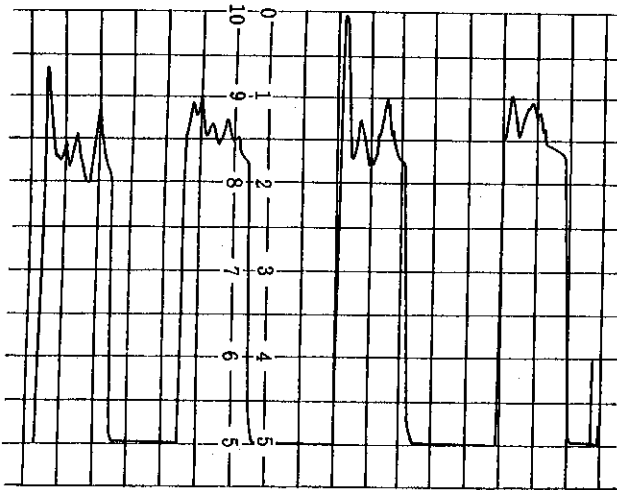
テート系のメンブラン・フィルタを溶かしてしまうからである。ところがここで新しい問題が起こる。極性をもつ溶剤には油の酸化生成物は溶解しているので、そのままの状態では溶剤を蒸発させると、油の酸化生成物の濃度が高くなり、固形物粒子を核にした酸化生成物の小塊ができる。さらに蒸発が続くと濃縮されて、酸化生成物の小塊同志が凝集して沈殿する。もしそのまま溶剤を完全に蒸発させると、固形物粒子は油の酸化生成物にすっぽりと包まれてしまって、見つけることができなくなる。このような沈殿物は石油エーテルで洗浄しても溶けない。すなわち、油の酸化生成物という極性物質は無極性の石油エーテルに溶け難いからである。

最後に少しでも固形粒子を裸に近い状態にして、メンブランフィルタを侵さない石油エーテルという無極性の溶剤を使おうとすると、静置沈殿する過程で洗浄した溶剤の上澄み液を少しずつ取り出して、同じ溶剤で希釈しながら溶剤に溶けている油の酸化生成物の絶対量を減少させなければならない。このように手間をかけて集めた微小固形物粒子も第4図の写真のようにまだ油の酸化生成物に包まれていて、膜から固形物が透けて見えるのはわずか数個だけであった。残念ながら、固形物を裸で取り出すという目標からは、まだほど遠いものであった。この抽出は根気の必要な実験であった。

5. サンドペーパー状の表面の確認

第3図の写真が示すように、肉眼や光学顕微鏡では見えなくても、金属表面には極性をもった油の酸化生成物の分子が厚い膜を作っていることが溶剤で洗浄することでわかった。そして、酸化生成物の吸着層には固形物が埋まっていることも何とかわかった。

フィルタの金網を各種溶剤で洗浄することによって、金属表面に吸着している粘着性の高い油の酸化生成物の膜が糊の役目を果たし、「蠅取り紙」に蠅が触れるとくっついて逃げられないように、固形物を付着させることが確認できた。糊の付いた表面に砂を吹き付けたものが「サンドペーパー」であるように、粘性の高い油の酸化生成物で作った膜の表面に固形物が付着すると、「サンドペーパー」と同じような表面ができる。「サンドペーパー」状の表面をつくるため、極く微量のセラミック・パウダーを入れた酸化油でゲージブロッ

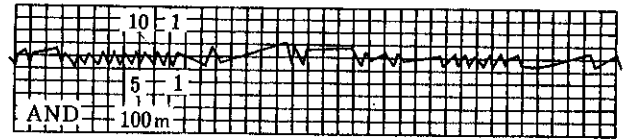


第5図 固形粒子によるステイック・スリップ

クを潤滑し、その上をしゅう動体がすべるときの摩擦係数を測定した。その結果、第5図に示すように不規則なステイック・スリップが起こった。

本誌の9月号、12月号、1月号で述べたように、油の酸化生成物が付着した表面上をしゅう動体がしゅう動するときだけでなく、油の酸化生成物が固形物を付着させてつくる「サンドペーパー状」の表面をしゅう動体がすべるときにも、ステイック・スリップが起こることがこの実験によって確認された。筆者の実験結果と同じような現象が実際の機械で起こるかどうにお客様の機械で調べてもらったところ、第6図に示すように、工場の機械にもステイック・スリップが起こっていた。この機械の油を浄化せずに、ステイック・スリップを起こしたバルブを分解清掃して再度取り付けたところ、第7図のようにステイック・スリップは完全に消えた。この場合、スプールに固形物粒子が付着していたかどうかは確認できなかったが、バルブ・スプールには汚染物は付着していた。このことからバルブ・スプールやスリーブの表面に汚染物が付着しているとステイック・スリップが起こり、表面がきれいになるとステイック・スリップは起こらないことが確認された。実際、この工場では8月24日にバルブを分解掃除してステイック・スリップは一旦消えたが、それ以降も同じ汚染油を使用していたため、10月4日にはステイック・スリップが再発し、その後油を浄化するまで、ステイック・スリップが続いたという。

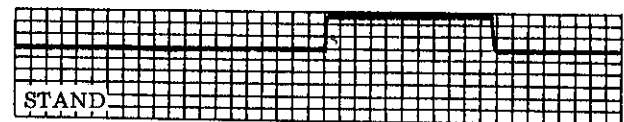
バルブ分解掃除前のすべり
(ステイック・スリップ発生)



CHANNEL 3 10U FS 2BNDR PID CHANNEL 3 10U FS 2
O/P 10U=100%

第6図 分解清掃前の圧力制御比例電磁弁のステイック・スリップ

バルブ分解清掃後のすべり
(ステイック・スリップ発生なし)



第7図 分解掃除後の圧力制御比例電磁弁の滑らかなすべり

6. これらの調査からわかったこと

これらの調査から、次のことがわかった。

- (1) 油の酸化生成物は粘性が高く、金属の表面に吸着して糊の働きをし、「蠅取り紙」のように他の汚染物をくっつけて、しゅう動面を「サンドペーパー」のようにする。
- (2) 「サンドペーパー」状の表面をしゅう動体がすべると、ステイック・スリップが起こる。
- (3) バルブを分解掃除すると一時的にステイック・スリップ現象は消えるが、油の酸化生成物が吸着して、また「蠅取り紙」状の表面ができると、「サンドペーパー」状の表面に戻り、ステイック・スリップ現象を再発させる。
- (4) バルブの分解掃除後、一旦消えたステイック・スリップが再発するまでの期間を考えると、油の酸化生成物が「蠅取り紙」効果を及ぼすには、油の酸化生成物の吸着膜はある程度の厚さが必要である。

筆者連絡先

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