

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⑧

線接触条件で起こる付着力

(株)クリーンテック工業 佐々木 徹

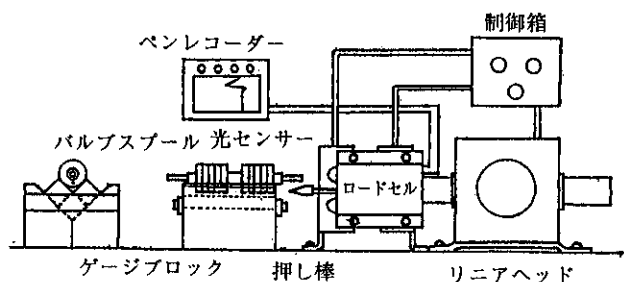
1. 線接触時の付着力測定のために線接触条件を維持することのむづかしさ

線接触条件という、我々はスケート靴の刃のエッジと氷の表面との接触を想像する。しかし線とは本来長さはあるが幅はないものであることを考えると、スケート靴の刃のエッジが氷の面を切り込んでいるので、幅があり、深さもあるから、これは厳密には線接触ではない。スケートの規定競技では、競技者がゆっくりとすべったときのエッジの軌跡を調べて、軌跡のなめらかさで判定されるという。このように幅があり、深さがあってもすべりは不安定である。いわんや幅も深さもない線接触条件で実験しようとする、不安定この上もない。

線接触条件は、平面上に円柱または円筒を接触させてつくる。円柱や円筒を動かすと転がるので、線接触条件を維持しながら正確に直線上をすべらせるのはむづかしい。そうかと言って、円柱や円筒を側面から支えると支え部分との摩擦が発生する。これではどこの部分の摩擦を測定しているのか分からない。これらの厄介な問題を避けるために、2枚のゲージブロックを90°に交わるように固定し、円筒または円柱がゲージブロックの面と2線で接触するようにすれば、円柱や円筒は転がることなく線接触条件を維持することができる。

2. 実験装置とこの実験で知ろうとすること

この実験装置を第1図に示す。工業的に得られる最も平面度が高く、面粗さの小さい面をもつゲージブロックを90°で交わるように固定し、油圧バルブメーカー

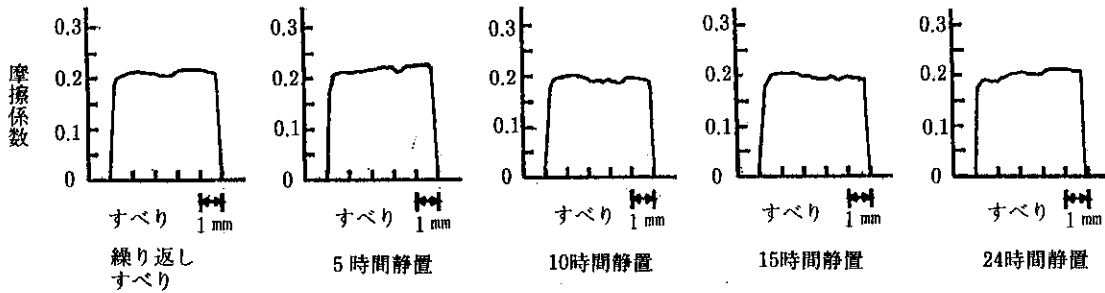


第1図 線接触での静摩擦係数測定装置

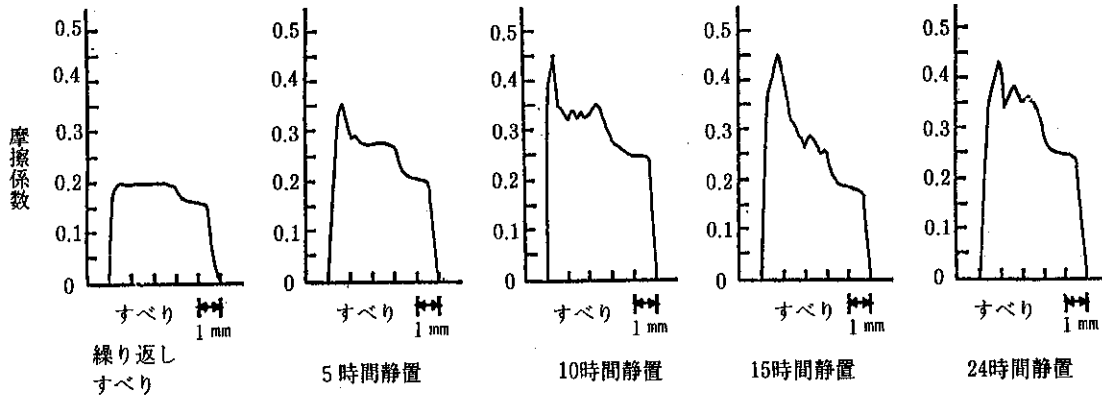
に提供してもらった高度な仕上げ面をもつバルブ・スプールをその上ですべらせて摩擦係数を測定した。この実験装置を使うと、線接触を維持しながら、バルブ・スプールがジグザグ運動することなくゲージブロック上をすべることができる。

この実験では①新油、②同油をRBOT試験機で3時間酸化させた油、③上記②の酸化油からシリカゲル・クロマトグラフィー法で抽出した油の酸化生成物をトルエンに溶解させたもの、④上記②の酸化油を静電浄油機で3時間浄化した油、の4種類の試料油を使い、バルブ・スプールの繰り返しすべり出し時と、バルブ・スプールを5時間、10時間、15時間、24時間静置した後の最初のすべり出し時の摩擦係数を測定した。摩擦係数には静摩擦係数と動摩擦係数があるが、本稿ではすべり出し時の静摩擦係数に焦点を当てる。この一連の実験で測定された静摩擦係数を考えることによって、休日明けの朝に油圧システムの立ち上がりが悪かったり、バルブがロックしたりする理由が分かる。

話を進めるまえに、この試験に使った油の酸化方法について説明する。



第2図 新油の摩擦係数



第3図 RBOT試験機で3時間酸化させた油の摩擦係数

油を酸化させる方法にはいろいろあるが、酸素を気泡として入れる方法では、気泡のサイズによって油の酸化の度合が変わる。それに対して、RBOT試験機⁽¹⁾を使うと、酸素と接触する油面が常に一定の表面積を維持し、その接触面を通して圧力によって酸素が油の中に溶け込むので、油の酸化の度合が安定する。そのため本試験では油を酸化させるのにRBOT試験機を使った。JIS⁽¹⁾を参照すればわかるように、RBOT試験機で油を酸化させるときには、酸化反応を促進させるために油の中に磨いた銅線や水を入れるが、この試験では、他の汚染物が入り込まないようにするため、銅線や水を油の中に入れずに酸素だけを加圧して入れ、他の条件は通常のRBOT試験方法に準拠して油を酸化させた。

3. 実験で測定された摩擦係数

(1) 新油の摩擦係数

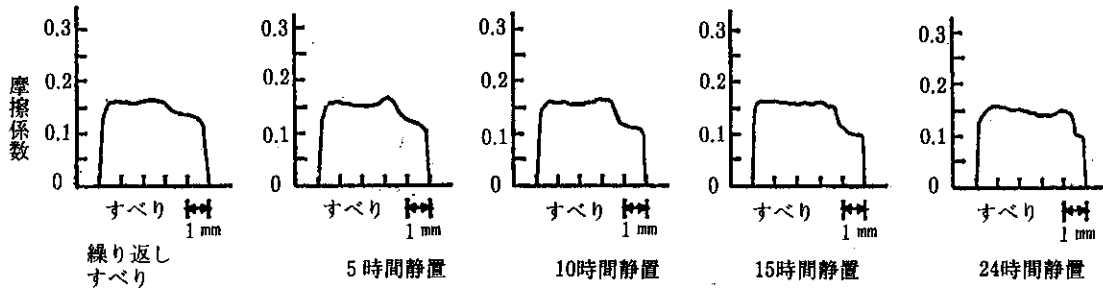
新油の摩擦係数は、第2図に示すように、バルブ・スプールを繰り返しすべらせたときも、バルブ・スプールを5時間、10時間、15時間、24時間静置していた後の最初にすべり出したときも変わらなかった。このことは潤滑条件に変化がなく、新油の中にはバルブ・ス

プールを固着させるようなものが存在しないことを示している。

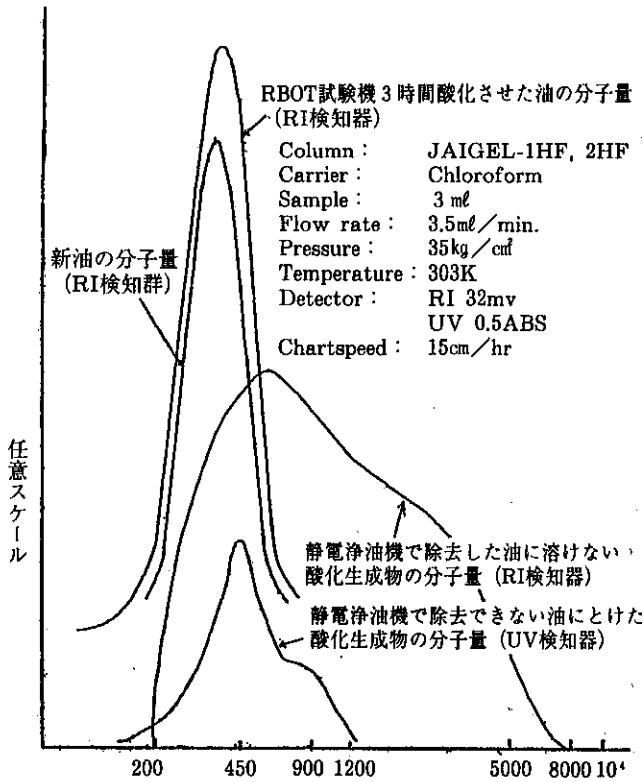
(2) 基油をRBOT試験機で3時間酸化させた油の摩擦係数

この酸化油を使って、第3図に示すように、バルブ・スプールを繰り返しすべらせたときと、バルブ・スプールを5時間、10時間、15時間、24時間静置した後、最初にすべり出させたときの摩擦係数を測定した。繰り返しすべらせたときの静摩擦係数は、第2図に示した新油の静摩擦係数とほとんど同じであったが、長時間静置した後の最初のすべり出し時の静摩擦係数は、繰り返しすべらせたときと比べて著しく増大した。このことは静置している間に、バルブ・スプールとゲージブロックとの間で固着が起こり、その固着をせん断するのに要した大きな力が静摩擦係数として現われたからと考えられる。

(3) 上記(2)の油から抽出した酸化生成物の摩擦係数
酸化油からシリカゲル・クロマトグラフィー法で抽出した油の酸化生成物をトルエンに溶かし、ドラフトのきいたテストベンチ内でその溶解液をバルブ・スプールやゲージブロック上に滴下すると、その溶液は低粘度だから、一瞬のうちにバルブ・スプールやゲージブ



第6図 RBOT試験機で3時間酸化させた油を静電浄油機で3時間浄化後の摩擦係数



第7図 分子量分布

ると考えられる。

- (2) 酸化油では、静置時間が長くなると静摩擦係数が大きくなる。静摩擦とは静止物体がすべり出すときの摩擦だから、静摩擦係数が大きくなることは静置物体のすべり出しを妨げる条件が潤滑面に存在していることを示唆している。

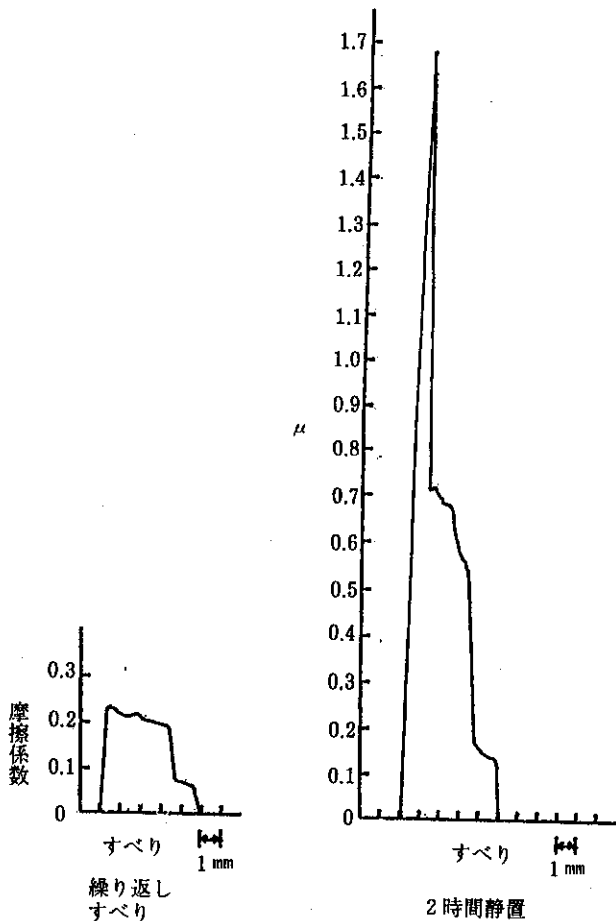
酸化油の中には第7図に示すように、新油の基油と同じく400前後の狭い分子量分布をもった分子、酸化生成物である油に溶ける極性物質、さらに酸化が進行し、高分子化して油に溶けなくなった極性物質の3種のグループがある。極性をもって金属表面に吸着する物質の分子量は、基油の分子量より大きく、450~8000で分布している。バ

ルブ・スプールを繰り返しすべらせているときには、ゲージブロックとバルブ・スプールの吸着膜同士の結合がないので、潤滑膜の中間部に存在するバルク状の基油の部分をもせん断している。しかしバルブ・スプールを長時間静置すると、重力によってバルブ・スプールが沈降してバルク状の油分子が押し出され、吸着膜同士が結合するようになる。この結合部をせん断する時の力が大きな静摩擦係数として測定される。吸着分子の分子量が大きければこの結合力は大きくなり、静摩擦係数も大きくなる。

- (3) 酸化油から抽出した酸化生成物の分子膜を積み重ねたときの摩擦係数は、わずか2時間の静置で非常に大きくなった。これは酸化によって高分子化した酸化生成物を積み重ねて吸着膜をつくったので、分子サイズから見た吸着膜の厚さはかなり大きくなっていったからである。バルブ・スプールを2時間静置することによって、バルブ・スプールとゲージブロックの表面に吸着していた吸着膜の分子が、潤滑油膜を介して両側から十分に結合していたことは、第5図の写真からわかるように、固着部が線接触ではなく、かなりの幅をもっていたことから納得できる。この結合部を切り離すには当然大きな力を必要とし、大きな静摩擦係数として現れた。

- (4) 第7図の分子量分布からわかるように、静電浄油機が高分子化した油の酸化生成物を除去した後は、基油と同じ400に分子量のピークをもった油と分子量450と900にピークをもつ油に溶ける極性物質だけが残っていた。

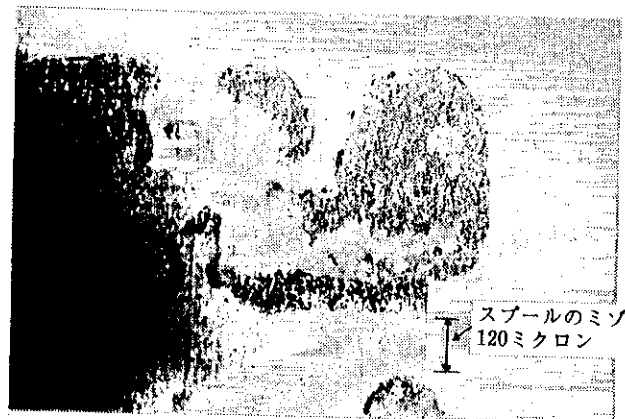
分子量のピークを形成しているということは、その分布の範囲で、それらの分子量をもつもの数が最も多いということの意味する。油が酸化さ



第4図 シリカゲルクロマトグラフィー法で抽出した油の酸化生成物を積層したときの摩擦係数

ロックの表面を覆い、トルエンは蒸発して油の酸化生成物の単分子膜ができる。この操作を20回位繰り返して油の酸化生成物の膜を積み重ねる。20回程度分子膜を積み重ねたくらいで色は付かない。この分子膜を積み上げたバルブ・スプールとゲージブロックに新油の基油を塗布し、バルブ・スプールをゲージブロック上に2時間静置した後、静摩擦係数を測定した。第4図に示すように、このときの静摩擦係数は約1.7 という、とんでもない大きな値を示した。最初、これは間違いではないかと考えて何度も測定したが、再現性があり測定に間違いはなかった。

大きな静摩擦係数が測定された直後のゲージブロックの表面に斜めから光線を当てながら顕微鏡下で観察すると、第5図の写真のように固着部で付着物がむしり取られた跡が見られた。当初、バルブ・スプールとゲージブロックは線接触していたにもかかわらず、数百ミクロンの幅をもった付着物がむしり取られた跡が



第5図 ゲージブロック上のむしれた付着物の顕微鏡写真

残っていたことは、付着物の厚さが分子の大きさと比べて、相当な厚さをもっていたことや、バルブ・スプールとゲージブロックの両面から伸び出た吸着膜同士が数百ミクロンの幅をもって結合していたことを示している。

(4) 上記(2)の酸化油を静電浄油機で3時間浄化した油の摩擦係数

静電浄油機で浄化した酸化油の静摩擦係数は、第6図に示すように、バルブ・スプールを繰り返してしゅう動させたときも、バルブ・スプールを5時間、10時間、15時間、24時間静置させた後の最初のすべり出し時もほとんど変わらなかった。このことは静電浄油機で酸化油を浄化することによって、固着を起こすような高分子化した油の酸化生成物が除去されたことを示唆している。

4. 油の中の物質の分子量から実験結果を考える

(1) 第7図に示すように、新油の基油を構成している個々の油分子の分子量は400前後の狭い分子量分布をもっており、無極性であるため、勝手な方向を向いている。このような油で潤滑してしゅう動体を滑らせると、両方のしゅう動面の中間部でバルク状態の潤滑油膜がせん断される。バルブ・スプールを長時間静置しておくと、沈降によって次第に基油が追い出され(潤滑の専門家は油のスクイーズアウトと呼んでいる)るが、新油の場合には何時までもバルク状の潤滑油膜が残っていて、そのバルク状の潤滑油膜がせん断されるため、静摩擦係数は静置時間と関係なく一定の値を維持す

れると、モノマー、ダイマー、トリマー、テトラマーというように、単位分子量毎にピークをつくりながら高分子化していくといわれている⁽²⁾。

基油が熱分解されると分子量の小さな炭化水素化合物もできるが、分子量分布のピークだけを考慮すると、分子量400にピークをもつ基油が熱分解してできたフリーラジカルが酸素と反応して、油に溶ける450の分子量域にピークをもつモノマーと900の分子量域にピークをもつダイマーができたと考えられる。

さらに単純化したモノマー分子を1単位、ダイマーを2単位とし、1単位の分子と2単位の分子を、1単位と2単位の長さをもつブロックと考えてそれらを積み重ねていくと、比較的容易に平滑な面ができることに気がつく。

静電浄油機で高分子化し溶けなくなった油の酸化生成物を除去し、基油とモノマー、ダイマーの酸化生成物だけが残った酸化油で潤滑すると、このメカニズムが働いて静摩擦係数が小さくなると考えられる。

5. 油圧システムにとっての油の酸化生成物

一口に油の酸化生成物といっても、油に溶けるものは汚染物ではなく優れた潤滑剤であるが、高分子化して油に溶けなくなったものは汚染物であって、潤滑の害になることがわかった。これは11月号の点接触条件

での実験結果、12月号の面接触条件での実験結果のいずれにも共通している。古くから油の酸化生成物は潤滑性を増すと言われていたが、これは油に溶ける酸化生成物を指していたと考えればある程度納得できる。しかし点接触条件、面接触条件、線接触条件のいずれから検討しても「油圧バルブのロックは硬い固形物を嚙込んで起こるが、(油の酸化生成物のような)柔らかい汚染物は潤滑剤であり、油圧バルブのシビアなロックを予防する」と結論した過去の研究⁽³⁾は間違いであったことが明らかになった。()内筆者加筆。

機械は使うものであるが、休止することもある。休日明けの機械の立上がりの遅さやバルブのロックの発生は、油の酸化生成物に原因があることを分かってもらえることを願っている。

<参考文献>

- (1) JIS-K2514, 3.3
- (2) Cho, L. & Klaus, E.E., ASLE Transactions, 24, 1, (1981), pp.119-124.
- (3) Surjaatmadja, J.B. & Fitch, E.C., Okurahoma State Univ., Oct. 5-7, (1976), Paper No. pp.76-8, 76-9, 76-10, 76-11.

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
