

二硫化モリブデンの潤滑機構について

The Mechanism of Molybdenum Disulfide Lubrication

星 本 健 一

Ken'ichi HOSHIMOTO

二硫化モリブデンは、真空中においてもすぐれた潤滑性能を示す固体潤滑剤として知られている。すなわち、同じ層状の結晶構造を持つグラファイトが真空中で、その潤滑性を失うのに反し、二硫化モリブデンは超高真空中において、大気中よりも低い摩擦係数を示す¹⁾。

本研究は、そのような特性を持つ二硫化モリブデンの潤滑の機構を解明しようとするものであって、摩擦中の潤滑被膜の状態を知るために、スライダと下地金属との間の電気抵抗を測定した。

実験装置

実験装置の概要を図1に示す。真空装置はソーブショ

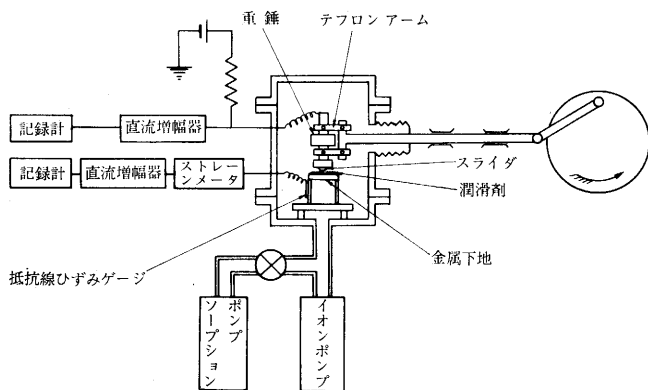


図1 実験装置の概要

ンポンプによって予備排気を行ない、その後イオンポンプによって排気を行なうようになっており、250°Cのベーキングによって 10^{-9} torr までの真空度に達する。スライダの駆動はベローズを介して行なわれる。

スライダはクランク機構によって往復直線運動を行なう。そのストロークは 15 mm であり、一往復に要する時間は 3 秒である。

下地金属は板バネによって支持し、その板バネに張りつけた抵抗線ひずみ計（ベークライトゲージ）によって摩擦力を測定している。また電気抵抗も図1のようにして測定し、摩擦力とともにペンレコーダに記録した。

スライダは 1/4 インチの軸受用鋼球に銅メッキしたものをを用い、下地は厚さ 1 mm の純銅板（市販品）を電解研磨したものをを用いた。潤滑剤はエチルアルコールに溶いたものを水面に浮かせ、下地の板ですくいあげて板上に付着させ、乾燥した後実験に供した。

摩擦中の潤滑剤被膜の状態

真空中および大気中で繰り返し摩擦を行なった場合の摩擦係数および電気抵抗の推移を図2に示す。真空中および大気中のそれぞれ2本の曲線は、同一試料上の別々の点の値を示すものである。

電気抵抗の曲線は、摩擦の繰り返しに伴って潤滑剤被膜が形成され、次いでじょじょに摩擦してゆくことを示している。潤滑剤被膜の形成期は、下地表面に置かれている潤滑剤粉末がスライダの通過によって押し固めら

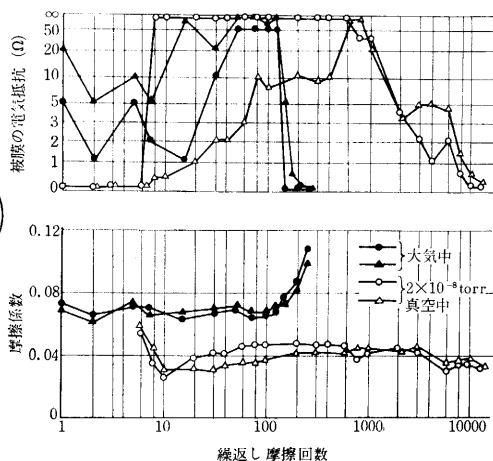


図2 摩擦の繰り返しによる摩擦係数と被膜の電気抵抗との推移

れ、連続した被膜を形成してゆく時期であろう。二硫化モリブデンの粉末が圧縮によって強固な被膜となることは、A. J. Haltner²⁾ が二硫化モリブデンの粉末を押し固めてバインダを含まない実験用ペレットを作製していることから考えても、うなずけることである。摩擦期は、形成された被膜がじょじょに摩擦し、除去されてゆく時期と考えられる。

大気中と、 10^{-8} torr の真空中とのデータを比較して顕著なことは、

a) 被膜形成（および維持）期と摩擦期との両方とも大気中よりも超高真空中の方がきわめて長い。

b) 大気中では被膜の摩擦は急速であり、電気抵抗がほとんど0になると、それに伴って摩擦係数も急激に上昇する。一方、超高真空中では摩擦がゆるやかであり、電気抵抗がほとんど0、すなわち被膜がきわめて薄くな

っても潤滑効果は失われず、このような状態で摩擦係数はむしろ低下する。

なお、二硫化モリブデンの電気伝導度は電圧依存性を持つので、電気抵抗と被膜の厚さとは、必ずしも比例しない。

このような大気中と真空中との潤滑効果の差は、下地と潤滑剤との付着性の差に帰せられるだろう。つまり、超高真空中で吸着物質を除かれた下地金属の表面には潤滑剤がよく付着し、この付着力によって裏うちされた潤滑剤被膜は多くの繰り返し摩擦に耐える。また潤滑剤の上層が摩耗していても、金属に直接付着した最下層の二硫化モリブデンは容易にはがれない。

実際、図 3 には 12000 回までのデータしか示していないが、この後さらに 10000 回程度の摩擦を繰り返しても、潤滑効果は失われない。

一方、大気中では下地表面の吸着物質などのために、潤滑剤被膜と下地との付着性はとほしく、そのため、二硫化モリブデンの被膜の一か所が破壊すると、その破壊は全体に及び、急速な摩耗が生ずる。

なお、潤滑剤被膜の形成の条件は、下地の材質、すべり面の幾何学的形状、荷重などによって左右され、たとえば円筒形のスライダを用い、大きな荷重の下で実験を行なった津谷³⁾⁴⁾の研究では、被膜の形成状態が大気中でもすこぶる良いようである。

摩擦の中断による摩擦係数の上昇

V. R. Johnson および G. W. Vaughn⁵⁾, A. J. Haltner¹⁾ は、真空中において二硫化モリブデンの摩擦試験を行なう際に摩擦を一時停止し、ある時間の後に再び開始すると、摩擦係数が顕著に増大することを報告している。M. T. Lavik ほかが二硫化タングステンについて行なった実験でも同様の現象が見いだされている⁶⁾。

Johnson らはこの現象をもとに、二硫化モリブデンの低摩擦は、MoS₂ から遊離した非晶質の硫黄に原因するものだと仮説をたて、停止中の摩擦の上昇は、この硫黄層が蒸発して失われることによると説明している。一方 Haltner は種々の実験から、摩擦の上昇は、停止中に潤滑剤に付着または侵入した気体分子によるものだとの見解をとっている。

筆者の実験では、潤滑剤の被膜が十分に厚いときには摩擦を一時中断しても摩擦係数の増加は見られなかったが、被膜がきわめて薄くなると（電気抵抗が 1 Ω 以下になると）、短時間の中断で摩擦は著しい増加を示した。

その模様を図 3 に示す。この摩擦の推移は Johnson らや Haltner が観察したものと類似しているが、これらの著者は二硫化モリブデンの粉末を押し固めたペレットをスライダとして実験を行なっているので、同一の現象と

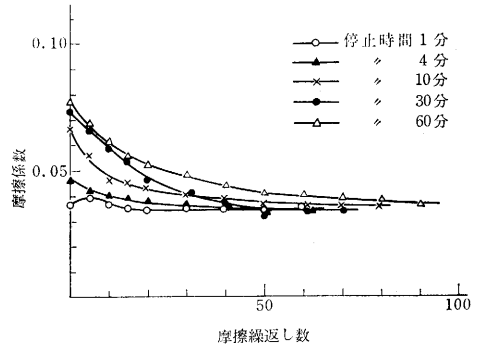


図 3 摩擦を一時中断した後の摩擦係数の推移

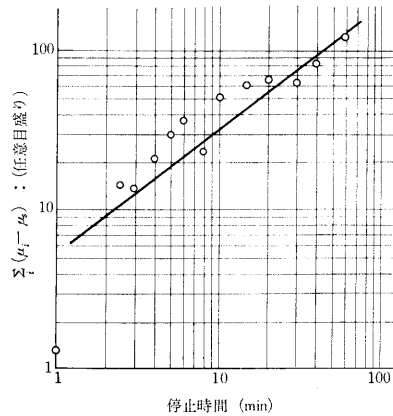
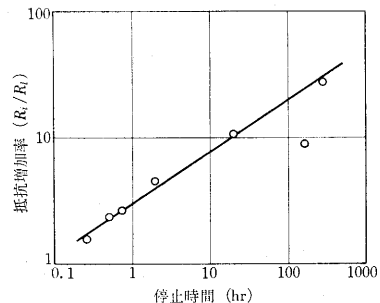


図 4 摩擦の安定化に要する仕事量と摩擦中断時間との関係

して簡単に論じるわけにはいかないであろう。

なお、各回の摩擦係数 μ_i と、安定した後の摩擦係数 μ_s との差をとったものを加えた値、すなわち $\sum_i (\mu_i - \mu_s)$ と、停止時間との関係をグラフに描くと、図 4 のようになる。 $\sum_i (\mu_i - \mu_s)$ は、停止中に増加した摩擦を安定な値まで減少させるのに必要な余分の仕事量と解釈され、これと停止時間との間に一定の関係が存在することがわかる。



R_0 : 停止前の被膜の電気抵抗
 R_t : 摩擦再開直後の電気抵抗

図 5 摩擦の中断による電気抵抗の増加

研 究 速 報

摩擦の中断による被膜の電気抵抗の変化は、さらに興味ある様相を示す。図 5 がその結果であり、データが不足でまだ十分な議論はできないが、このような停止中の電気抵抗の増加は、被膜が十分に厚く、中断によって、摩擦係数が増加しないような状態でも、やはり観察される。

このような被膜の抵抗の上昇は、他の多くの実験者の結果⁷⁾とあわせて、Johnson らの説に反するものである。一方、Haltner の気体吸着および汚染が原因であるとする説をとれば、この現象は一応の説明がつく。またほかに停止中に、潤滑剤粒子の配列状態が変化することも考えられる。摩擦繰り返し中潤滑剤被膜は圧縮された状態にあり、その内部には大きな応力が存在するはずである。そこで摩擦を中断すれば、残留応力は回復し、被膜は圧縮状態をじょじょに脱してゆくだろう。その結果として被膜の電気抵抗が増加することは十分に考えられ

る。

以上に主として、実験結果のみについて述べたが、多くの問題点について、今後検討を進める予定である。

最後に、本研究にあたってご指導を賜わった松永正久教授、ならびに実験にご協力いただいた松永研究室諸氏に、厚く御礼申しあげる。 (1967年7月12日受理)

文 献

- 1) A. J. Haltner; Wear 7 p. 102 (1964).
- 2) A. J. Haltner and C. S. Oliver; J. Chem. Engg. Data, 6 p. 128 (1961).
- 3) 津谷, 山田; 潤滑, 11 p. 45 (1966).
- 4) 津谷, 山田; 潤滑, 11 p. 167 (1966).
- 5) V. R. Johnson and G. W. Vaughn; J. App. Phys. 27 p. 1173 (1956).
- 6) M. T. Lavik, G. E. Gross and G. W. Vaughn; Lub. Engg., June 1959, p. 246.
- 7) たとえば, A. J. Haltner; ASLE Trans. 9 p. 136. (1966).

東京大学生産技術研究所報告刊行予告

第 18 卷 第 1 号

石原 智男・リチャード・斎藤 治彦 著
江守 一郎

(英 文)

NON-STEADY CHARACTERISTICS OF HYDRODYNAMIC TRANSMISSION

流体伝動装置の非定常特性

ターボ式の流体伝動装置すなわちトルクコンバータおよび流体継手の定常状態における特性に関する研究は数多く発表され、その具体的な設計方法もほぼ確立されている。しかし、これら流体伝動装置を備えた自動車などの加速性や軸系の振り振動などを問題とする場合に必要なる非定常特性に関する研究はほとんど発表されていない。著者らは、流体の非定常流れの影響を考慮し、流体伝動装置の非定常特性に対する理論式を導き、種々な場合に対する解を求めた。実験によって理論の正しさを証明するとともに、振動解析を容易にするため、流体伝動装置を質量、ばねおよびダッシュポットの模型で置換する方法を提唱した。結果として、変化のゆるやかな過渡特性を求める際には定常特性の連続的变化と考えてよいことや、振動特性を求める際には流体の非定常流れの影響を無視できないことなどが明らかにされた。 (1967年10月発行)

正 誤 表 (8月号)

| ページ | 段 | 行 | 種 別 | 正 | 誤 |
|-----|---|-----|-----|-----------------------|-----------------------|
| 8 | | | 執筆者 | 大野 豊** | 大野 豊* |
| " | | | 脚 注 | **東京電力株式会社・技術部 | |
| 14 | 右 | 22 | 本 文 | 志田副長, 河合氏および | 志田副長, および |
| " | " | 23 | " | 笹野氏および | 笹野氏, 河合氏, および |
| 15 | 左 | 17 | 本 文 | 定量的 | 定性的 |
| 18 | | | 表 3 | Sを含む | Sを含む |
| 19 | 右 | 下 6 | 本 文 | 図 7 | 図 3, 7 |
| 22 | " | 20 | " | その | そのその |
| " | " | | 文 献 | 2)…………(東京都首都整備局都市公害部) | 2)…………(同上) |
| | | | | 3)…………(同上) | 3)…………(東京都首都整備局都市公害部) |